www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

PHILIPS TECHNISCH TIJDSCHRIFT

JAARGANG 31, 1970, no. 5/6

Op 1 december 1970 heeft een van de trouwste en meest toegewijde lezers van Philips technisch Tijdschrift de dag herdacht, waarop hij 40 jaar geleden in dienst trad bij zijn huidige werkgever. Ons tijdschrift is niet de plaats om aan jubilea aandacht te schenken, maar wèl heeft de redactie gemeend in dit bijzondere geval aan deze zeer geachte lezer — die ook medeoprichter van het tijdschrift is — bij de viering van zijn jubileum, op 14 januari 1971, een nummer te moeten presenteren dat uitsluitend artikelen bevat over onderwerpen die zijn bijzondere belangstelling genieten. Opdat deze artikelen, als klein geschenk door de auteurs aan de jubilaris aangeboden, des te authentieker zouden zijn, heeft de redactie ze, in tegenstelling met de gewoonte, niet of nauwelijks bewerkt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Zijne excellentie dr. G. H. Veringa, minister van Onderwijs en Wetenschappen, arriveert op 18 september 1968 op het complex Waalre van het Natuurkundig Laboratorium voor de opening van het gebouw WY. Hij wordt ontvangen door ir. F. J. Philips.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

To a Reader

I n the old age they sang the praise of kings
R enowned for valour, wisdom, wits and grace,
F or furthering arts and sciences and all things
R esults of which might serve the human race.

I t is beyond my modest oratory
T o find fit praise for whom for two score years
S upported us in our laboratory,
P roviding means, allaying doubts and fears.

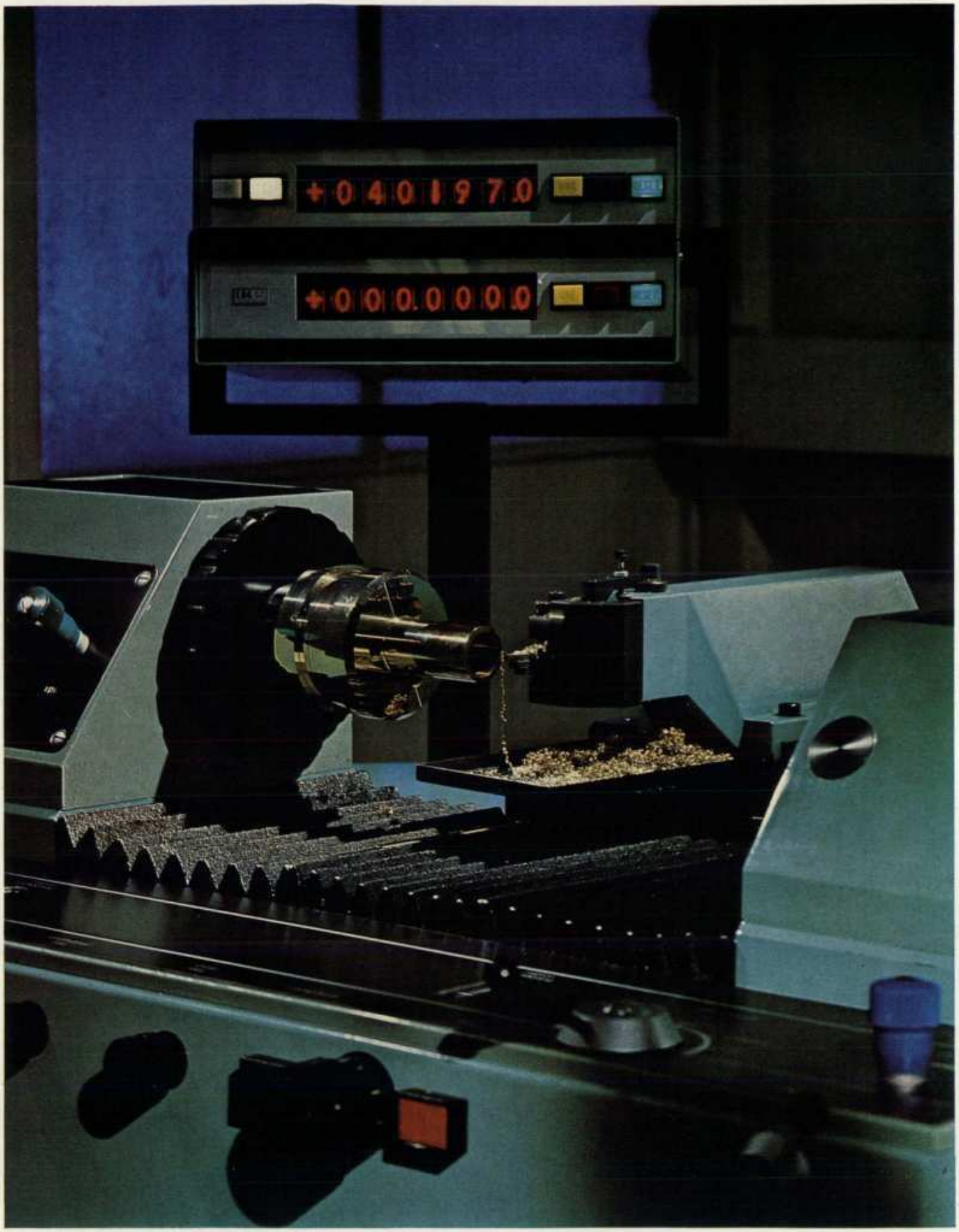
H ere you descended, minist'ring to a guest,
I n vain I search the measure of your scope,
L est you resent the dullness of my quest
I leave your name implicit, in this hope:

P erhaps my rhymes, insipid though they be,
S how to the world our gratitude to thee!

H. B. G. Casimir

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023



Precisie-draaibank met hydrostatisch gelagerde spil en sleden en met hydraulische aandrijving, volgens ontwerp van Philips' Natuurkundig Laboratorium. De beide telwerken boven de bank geven de coördinaten van de beitel in tienduizendste millimeters. Gereedschapswerktuigen zijn het onderwerp van nevenstaand artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Veertig jaar werkplaatstechniek

B. L. ten Horn

Inleiding

De werkplaatstechniek is voor vele vormen van industrie een vitale basisactiviteit. Toch blijkt het niet zo gemakkelijk te zijn de inhoud van het begrip „werkplaatstechniek" af te bakenen. We kennen immers vele soorten werkplaatsen, waarin ver uiteenlopende technieken worden toegepast.

In Nederland, als zeevarend land, ontstonden bij de werven machinefabrieken en ketelmakerijen, die mogelijk de oudste vorm van werkplaatstechniek van ons land vertegenwoordigen. Dat deze fabrieken, ontstaan rond de scheepsmachine en zijn stoomketel, zich ook richtten op de behoeften van de energiebedrijven en van de chemische industrie, is begrijpelijk.

Constructiewerkplaatsen voor de bouw van kranen, bruggen, overkappingen e.d. vormen weer een geheel andere categorie van werkplaatsen. In de massafabricage van consumptiegoederen speelt de werkplaatstechniek een grote rol bij de vervaardiging van de hulpmiddelen voor de produktie, zoals speciale machines, stempels en matrijzen. Ook de research kan het niet zonder de diensten van de werkplaatstechniek stellen.

Wetenschappelijke en medische apparatuur, hulpmiddelen bij de telecommunicatie, bij 's lands defensie en het transportwezen zijn vaak voorbeelden van produkten die, ook in mechanisch opzicht, de grootst mogelijke verfijning vragen. Het is niet overdreven te zeggen dat vele nieuwe gebieden die door de wetenschap zijn ontsloten, zoals kerntechniek, ruimtevaart, geavanceerde medische methoden enz., alleen door de wetenschap kunnen worden betreden als de werkplaatstechniek in staat is de daarvoor vereiste apparatuur te verschaffen.

Het vitale belang van de werkplaatstechniek voor een groot aantal industrieën komt voort uit zijn rol bij de produktie van de kapitaalgoederen, waarop het functioneren van die industrieën op zo wezenlijke manier berust.

Een nieuw gezichtspunt

De numerieke besturing heeft in de laatste twee decennia geleid tot een nieuwe en frisse kijk op de werkplaatstechniek die, ook buiten het directe toepassingsgebied van deze nieuwe werkmethode, verhelderend heeft gewerkt. In het jargon van de informatica, waarvan de numerieke besturing een gespecialiseerd onderdeel is, vallen kernachtige dingen omtrent de werkplaatstechniek te zeggen.

In elke vorm van mechanische produktie speelt een grote hoeveelheid, in hoofdzaak geometrische, informatie een rol. Deze informatie ontstaat bij de conceptie en de ontwikkeling van een produkt. Op het constructiebureau wordt bij het construeren en detailleren een enorme hoeveelheid informatie toegevoegd, die in al zijn fijn vertakte details op technische tekeningen wordt vastgelegd [1]. Achter de aanduidingen op de stuklijsten van deze tekeningen gaat een schat van in normbladen vastgelegde informatie schuil.

De „werkplaats", zoals wij die hierboven in vele verschijningsvormen ten tonele hebben gevoerd, blijkt steeds het grensvlak (de „interface") te bevatten van de met abstracties werkende wereld van de constructie en de wereld van de materiële realisatie van het produkt door een produktieapparaat.

De mechanische vakman wordt misschien het best gekenmerkt als de man die een tekening kan lezen en die datgene wat op de tekening staat met zijn machines en gereedschappen tot werkelijkheid kan maken. We treffen de mechanische vakman steeds aan op het grensvlak van constructie en produktie, meestal als bedienaar van gereedschapswerktuigen of als bankwerker, maar ook in de montage en in de constructiewerkplaats, waar hij onderdelen volgens tekening tot een produkt samenstelt.

Het verwerken van de hierboven omschreven informatiestroom is tijdrovend en daarbij nog een potentiële bron van menselijke vergissingen. Het dubbele oponthoud van het aan de hand van de tekening uitdenken van de juiste werkwijze of machine-instelling en het daarna, vaak meervoudig, controleren van het uitgedachte — waarvoor in Amerika de sprekende naam „ear-scratching time" is gevonden — maakt de produktiviteit op het grensvlak van constructie en produktie onvermijdelijk laag.

Waar het om de eenmalige fabricage van kapitaal-

Prof. ir. B. L. ten Horn, wetenschappelijk adviseur van Philips' hoofdgroep Machinefabrieken en buitengewoon hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Delft, is o.m. lid van het bestuur van Philips' Centrum voor Fabricagetechnieken (C.F.T.) en als zodanig verantwoordelijk voor het vakgebied Mechanische Bewerkingen in dit Centrum.

[1] H. Huizing, Numerieke besturing: integratie van construeren en produceren?, Ingenieur **80**, W 197-203, 1968.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

goederen gaat valt aan deze stand van zaken weinig te veranderen. Zodra echter de fabricage een repeterend karakter krijgt, ontstaan mogelijkheden om de voor de bedoelde informatieverwerking vereiste inspanning slechts één keer te verrichten voor de vervaardiging van een hele serie produkten. De informatie moet dan op zodanige wijze in de instelling van de machine, in mallen en hulpgereedschappen (jigs and fixtures) en andere „hardware" worden verwerkt, dat het produkt kan worden vervaardigd zonder een tekening te raadplegen. Hoe ver men hiermee kan gaan, hangt van de grootte van de serie af. In de massafabricage is het steeds lonend de hele ontwerpinformatie in stempels, matrijzen, speciale machines, controlehulpmiddelen enz. vast te leggen, zodat aan de eigenlijke produktie geen tekeninginformatie meer te pas komt en het produktieritme hoog kan worden opgevoerd.

Het grensvlak van constructie en produktie is nu verplaatst naar de gereedschapmakerij en de fabriek van gespecialiseerde machines, waar we de vakman met zijn tekeningen, zijn universele gereedschapswerktuigen en zijn flexibele werkmethoden terugvinden.

Ongetwijfeld zal de plaats van de werkplaatstechniek tussen constructie en produktie al onderkend zijn vóór de komst van de numerieke besturing. De numerieke besturing, en vooral de integratie van constructie en produktie met behulp van de moderne informatietechnologie — computer-aided design (CAD) en computer-aided manufacture (CAM) — hebben gedwongen deze materie verder te doordenken en hebben ons de terminologie geschonken om ons kernachtig omtrent de materie uit te drukken [2].

De veertig jaar die in dit artikel worden overzien, worden gekenmerkt door rationalisatie en schaalvergroting, die te zamen in veel gevallen enkelfabricage tot seriefabricage en seriefabricage tot massafabricage hebben gemaakt. Hierbij is de vakman meer en meer verplaatst naar de produktievoorbereiding.

In de laatste vijftien jaar zien we zich een geheel nieuwe ontwikkeling aftekenen. De verhoging van de automatiseringsgraad door middel van de numerieke besturing is niet meer gericht op de verplaatsing van de arbeidsintensieve schakel in het produktieproces van de produktie zelf naar de vervaardiging van produktiemiddelen, maar op automatisering van de informatieverwerking op die plaats, om ook deze moeilijke fase van de produktie te rationaliseren.

Een aantal belangrijke technieken

De verspaning vormt nog altijd een van de belangrijkste onderwerpen uit de werkplaatstechniek. De combinatie van de vakman met een universele verspanende machine is nog steeds het beste hulpmiddel om onderdelen van mechanismen rechtstreeks vanuit de tekeninginformatie te vervaardigen. Door samenspel van roterende en rechtlijnige bewegingen worden de vormen gegenereerd die nodig zijn om de onderdelen van op verwante wijze bewegende mechanismen te maken. Met heel weinig andere vormgevingstechnieken is de nauwkeurigheid te bereiken die nodig is om machineonderdelen goed op elkaar passend te laten samenwerken.

Mechanische meettechniek, met de leer van passingen en toleranties als onderdeel daarvan, is terecht altijd gezien als behorende tot de werkplaatstechniek. De samenhang met de onderdelenfabricage zowel als met de montage is duidelijk.

In plaat- en constructiewerk zijn vormgeving en samenstelling één en ondeelbaar. In het „maken door samenstellen" zijn de verbindingstechnieken als weerstand- en smeltlassen, hardsolderen, lijmen e.d. van doorslaggevend belang.

De onderdelen van een plaatconstructie zullen in de kleine seriefabricage bij voorkeur door buigen van een vlakke uitslag van het produkt worden verkregen, omdat de fabricage van ruimtelijk gekromde vlakken zonder gereedschap niet mogelijk is. In de vliegtuigindustrie valt aan ruimtelijk gekromde vlakken niet te ontkomen. Wij danken aan deze industrie een aantal werkmethoden voor de vervaardiging van kleine series van ruimtelijk gekromde produkten uit plaat.

Het gereedschapmaken is steeds een vak apart geweest. Gereedschapmakers hebben geleerd te denken in „omgekeerde" vormen: een kunststofprodukt bij voorbeeld, is voor hen een holte in een matrijs. Deze omkering van de vorm schept bij de verspanende bewerkingen vaak onoverkomelijke toegankelijkheidsproblemen. Om hiervoor oplossingen te vinden zijn als onderdeel van het gereedschapmaken een aantal omkeertechnieken ontwikkeld zoals hobben, galvanoplastiek en vonkverspanen.

Ten slotte vormt ook de hele informatieverwerking in planning, werkvoorbereiding, werkvoortgangsbesturing enz. een wezenlijk deel van de werkplaatstechniek. Alleen het zuiver technische stuk daarvan, met name de numerieke besturing, valt binnen het bestek van dit historisch overzicht.

Veertig jaar verspaningstechniek

De jaren dertig waren voor de verspaningstechniek belangrijke jaren. Snelstaal was als snijmateriaal goed ingevoerd. De grote groepsdrijfwerken (*fig. 1*) waren uit de meeste werkplaatsen verdwenen of aan het verdwijnen. Dit leidde niet alleen tot een betere opstelling van de machines, maar maakte het ook mogelijk zoveel vermogen aan de machine toe te voeren als men maar nodig dacht te hebben.

In 1927 demonstreerde Krupp op de Leipziger Messe

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voor de eerste maal het nieuwe snijmateriaal Widia of hardmetaal [3]. Dit voorval zou van even groot belang blijken te zijn als de bekende demonstratie op de Parijse Wereldtentoonstelling van 1900 van het snelstaal van F. W. Taylor en M. White. De snijsnelheid bij het verspanen kon wederom met ongeveer een factor 5 worden verhoogd. Toch maakte, zoals we verderop zullen uiteenzetten, de invoering van het nieuwe snijmateriaal in de jaren dertig teleurstellende vorderingen.

Inmiddels ontving de ontwikkeling van het oude snijtemperatuurmeting en de invoering van het harden in zoutbaden hadden hiertoe de mogelijkheden geopend. Verificatie van de resultaten van de warmtebehandeling geschiedde met behulp van proeven aangaande de gebruiksduur die, uitgaande van de geldigheid van de relatie van Taylor tussen snijsnelheid en gebruiksduur, werden versneld. De schijfproef van Brandsma, ontwikkeld in het Natuurkundig Laboratorium, is hiervan een goed voorbeeld [4] [5].

Het nieuwe hardmetaal, dat oorspronkelijk voor de

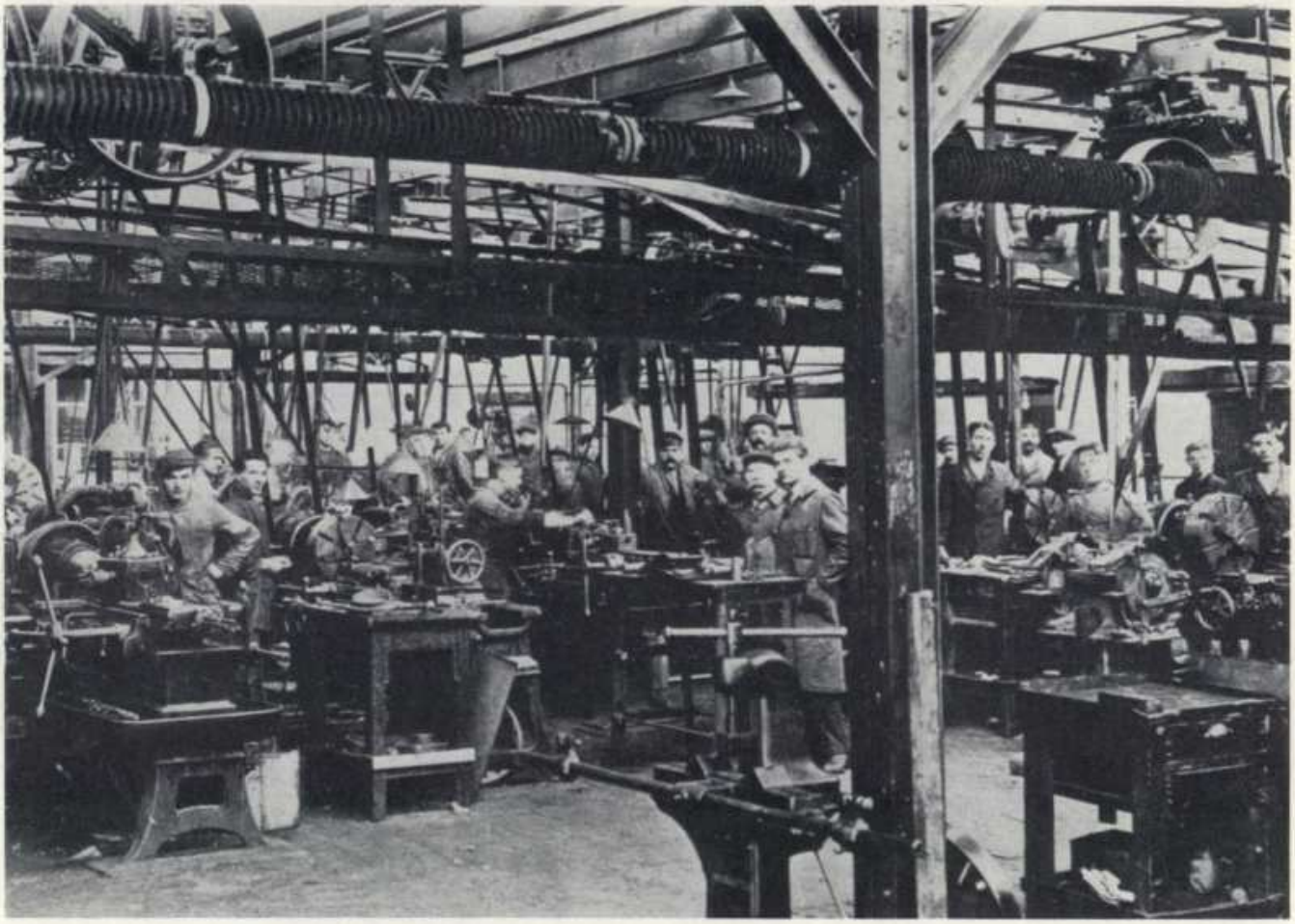


Fig. 1. Philips' Machinefabriek in 1917. Groepen gereedschapswerktuigen worden met behulp van riemen aangedreven door in de fabriekskap aangebrachte drijfassen.

materiaal, het snelstaal, nieuwe impulsen door de concurrentie van het hardmetaal. De oorspronkelijke uitvinding van Taylor en White betrof veeleer een nieuwe warmtebehandeling voor het oude wolfraamstaal (Mushet staal) dan een nieuwe staalsoort, al is het eigenlijke snelstaal op zijn beurt ontstaan door aanpassing van het Mushet staal aan de nieuwe warmtebehandeling.

Typerend voor de verdere ontwikkeling ter consolidatie van het snelstaal in de jaren dertig was dan ook dat het meer een perfectionering van de warmtebehandeling dan van de legering betrof. Verbetering van de vervaardiging van trekstenen voor wolfraamdraad was ontwikkeld, was een sinterprodukt en bestond uit wolfraamcarbide en cobalt. Nu bezit wolfraamcarbide bij de temperatuur die tijdens het verspanen bij hoge snelheid op het spaanvlak wordt bereikt (ruim 1000 °C),

[2] J. L. Remmerswaal, De machinefabriek van morgen, Ingenieur **82**, A 626-631, 1970 (no. 33).
[3] (*Anonymus*) Widia, Metaalbewerking **1**, 20-21, 1934/35.
[4] W. F. Brandsma, Het onderzoek van de beitelpunt, Metaalbewerking **2**, 541-545, 1935/36.
[5] J. R. J. van Dongen en J. G. C. Stegwee, De beteekenis van de schijfproef als verkorte standtijdproef, I, II, Metaalbewerking **3**, 1-6, 49-56, 1936/37.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een lang niet verwaarloosbare oplosbaarheid in ijzer [6]. De oudste hardmetaalbeitels vertoonden als gevolg hiervan een snelle uitkolking van het spaanvlak, die de toepassing van hardmetaal voor het snijden van staal onaantrekkelijk maakte. Bij het verspanen van non-ferrometalen en gietijzer trad deze slijtagevorm niet op.

Een minstens zo hinderlijke eigenschap van het nieuwe snijmateriaal was zijn brosheid. Ten gevolge van de druk van de spaan ontstaan in het materiaal van de beitel vlak achter de snijkant trekspanningen, die bij een bros snijmateriaal als hardmetaal uitbrokkeling en zelfs totale breuk van het gereedschap kunnen veroorzaken. Om die spanningen laag te houden, moet de zg. wighoek (zie *fig. 2*) ten koste van de spaanhoek worden vergroot. Nu was dit niet ernstig, omdat de spaan bij de hoge, bij het hardmetaal toelaattoen oorlogsgeweld en Marshall-hulp tot een grootscheepse vernieuwing van het machinepark hadden geleid, tot een werkelijke doorbraak in de toepassing van hardmetaal gekomen.

Reeds vlak na de uitvinding van het hardmetaal was er o.a. in de Verenigde Staten van Amerika (Fansteel „Ramet" 1930) geëxperimenteerd met sinterprodukten uit titaan- en tantaalcarbide. Een groot succes werd door Krupp bereikt door mengcarbiden van wolfraam en titaan te gebruiken die ca. 10% TiC bevatten [7] (Widia X, 1931). De geringere oplosbaarheid van titaancarbide in het materiaal van de hete spaan maakte dat de kolkslijtage veel minder snel verliep dan bij het wolfraamcarbide-hardmetaal. Het titaan-wolfraam-mengcarbide was veel gemakkelijker tot een niet-bros produkt te sinteren dan het zuivere titaancarbide. Bovendien leverden de titaancarbide-hardmetaalsoor-

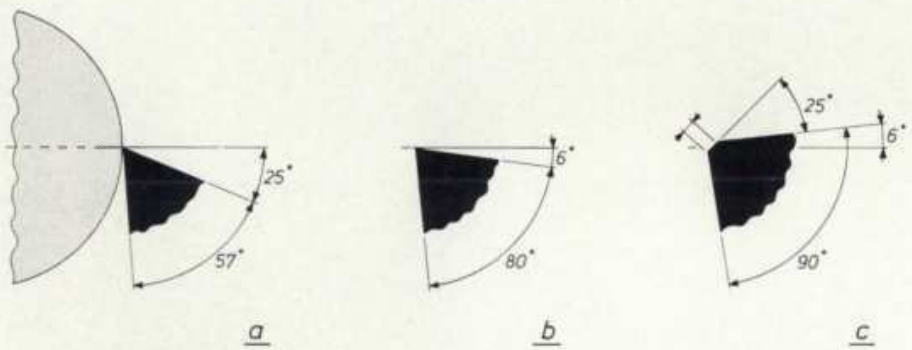


Fig. 2. De spaanhoek en de wighoek van draaibankbeitels van snelstaal (*a*), hardmetaal (*b*) en keramiek (*c*). De spaanhoeken zijn resp. 25°, 6° en −6°, de wighoeken 57°, 80° en 90°. Bij de keramische beitel is de snijkant afgeschuind ter vermindering van de bij het verspanen optredende trekspanningen.

bare, snijsnelheden ook bij een kleine spaanhoek goed afloopt.

De met snelstaal opgedane ervaringskennis van de vakman schreef spaanhoeken van 20° tot 30° voor, en de nieuwe spaanhoeken van 0° tot 6°, die voor hardmetaal optimaal zijn, bleken door de vakman maar moeilijk te worden aanvaard. Hier kwam dan nog bij dat het wolfraamcarbide alleen met diamant kon worden geslepen. De kostbaarheid en de kwetsbaarheid van de gebruikte diamantslijpschijven leidden er meestal toe dat het slijpen van de beitel uit de handen van de vakman werd genomen. De hieraan verbonden last en het tijdverlies maakten het nieuwe snijmateriaal bij de vakman, die bij gebruik van snelstaal immers zichzelf kon helpen, niet erg populair. De gereedschapswerktuigen misten bovendien vaak het vermogen dat nodig was om de juiste snijsnelheden voor het hardmetaal waar te maken. Hun stabiliteit was onvoldoende, de optredende trillingen leidden tot voortijdige breuk van de snijkant van het gereedschap.

Door het samentreffen van al deze oorzaken is het in Europa eigenlijk pas na de tweede wereldoorlog, ten grote moeilijkheden bij het solderen van het beitelplaatje aan de schacht, tenzij het titaancarbidegehalte beneden een zekere kritische waarde werd gehouden.

De geschiedenis van het titaancarbide-hardmetaal zou nog een merkwaardig vervolg krijgen, dat nauw samenhangt met de ontwikkeling, in het laatst van de jaren vijftig, van het keramische snijmateriaal. In die tijd gelukte het aluminiumoxide zo zuiver en vrij van inwendige spanningen en fouten te sinteren, dat het geschikt werd voor de verspaning van de meeste metalen. De inmiddels met hardmetaal opgedane ervaring wees de weg naar een succesvolle toepassing van dit, nog weer brossere, snijmateriaal. Aluminiumoxide was echter met de gebruikelijke werkwijzen in het geheel niet meer aan een metalen schacht te solderen, zodat een klemconstructie, zoals inmiddels hier en daar ook al voor hardmetaal werd gebruikt, een dwingende noodzaak werd. Om in het keramische snijplaatje trekspanningen nabij de snijkant te voorkomen, werd, behalve van een wighoek van 90°, nog van een afschuining van de snijkant gebruik gemaakt (fig. 2).

Alle maatregelen die noodzakelijk waren om met

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

succes keramisch snijmateriaal te kunnen toepassen, waren nu juist ook geschikt om het in het begin van de jaren dertig te vroeg geboren titaancarbide-hardmetaal in het zadel te helpen. Het titaancarbide-hardmetaal, dat met nikkel als bindmiddel en met toevoegingen van molybdeencarbide sprekend geleek op het materiaal uit de jaren dertig, werd in 1959 met succes door de Ford Motor Company toegepast [8] [9].

Het gebruik van titaancarbide-hardmetaal bood veel van de voordelen van het keramische snijmateriaal. De geringere brosheid maakte de praktische toepassing ervan echter veel gemakkelijker. Het voorbeeld van Ford vond zoveel navolging dat dit de verbreiding van keramisch snijmateriaal in de jaren zestig duidelijk heeft afgeremd.

Op dit moment lijkt het alsof deze fase alweer aan het voorbijgaan is. De toepassing van keramisch snijmateriaal neemt weer toe en titaancarbide heeft, in brosheid tussen het klassieke hardmetaal en keramiek in liggend, als wegbereider voor deze ontwikkeling gefungeerd. Titaancarbide heeft thans, als slijtvaste deklaag op normaal hardmetaal, al weer een nieuw toepassingsgebied gevonden [10].

De klemhouder (*fig. 3*) heeft meer gedaan dan het oplossen van de soldeerproblemen van het keramisch materiaal en het titaancarbide. Ook bij het klassieke, goed soldeerbare hardmetaal blijkt het wegvallen van de soldeerspanningen heilzaam te zijn voor de stevigheid van de hardmetaalplaat. Belangrijker is echter dat de draaier bij de modernste constructies van de klemhouder een aantal scherpe snijkanten tot zijn beschikking heeft. Het losmaken van het wisselplaatje, het voordraaien van een nieuwe snijkant en het weer vastzetten van de plaat vormen een karwei dat met enige zorg moet worden uitgevoerd maar dat met een gerust hart aan de vakman kan worden overgelaten. Bij het voordraaien van een nieuwe snijkant gaat de instelling van het gereedschap niet verloren, zoals dat bij het verwisselen van een beitel het geval is. De vakman kan zichzelf weer helpen, juist als bij het gebruik van een snelstalen beitel.

Het gebruik van hardmetalen wisselplaten, ook wel wegwerpplaatjes genoemd, is niet tot beitels beperkt gebleven. Ook in hardmetalen frezen worden ingeklemde wisselplaten met succes toegepast.

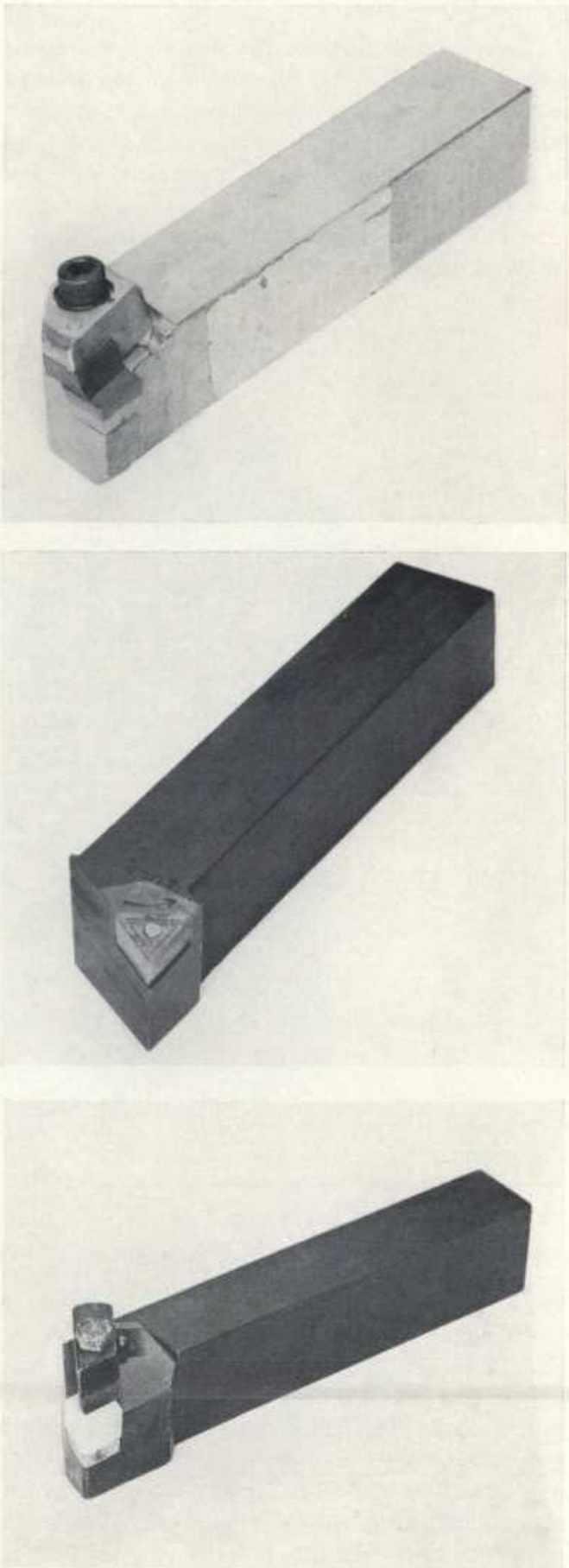


Fig. 3. Beitels waarvan het snijdende element (de zg. wisselplaat) verwisselbaar is en méér dan één snijkant heeft. Zodra een snijkant bot is geworden, wordt een volgende voorgedraaid. De wisselplaat wordt bij de drie beitels op verschillende wijzen vastgeklemd.

[6] E. M. Trent, Some factors affecting the wear of cemented carbide tools, Machinery (Eng.) **79**, 823-828 en 865-869, 1951.
[7] E. Ammann en J. Hinnüber, Die Entwicklung der Hartmetallegierungen in Deutschland, Stahl und Eisen **71**, 1081-1090, 1951.
[8] New titanium carbide tools outlast ceramics, Amer. Machinist **103**, no. 6, 125-126, 1959.
[9] B. L. ten Horn en R. A. Schürmann, Beproeving van titaancarbide hardmetaal, Metaalbewerking **26**, 1-3, 1960/61.
[10] P. Groen en C. A. van Luttervelt, Hardmetalen wisselplaten met titaancarbidelaag, Metaalbewerking **35**, 495-500, 1969/70 (no. 20).

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Gereedschapswerktuigen

Gereedschapswerktuigen zijn machines waarop de vormgeving, dankzij het samenspel van roterende en rechtlijnige bewegingen, door kinematische generatie tot stand komt. De zeer hoge bereikbare nauwkeurigheid is het meest kenmerkend voor deze wijze van vormgeving.

In 1927 publiceerde G. Schlesinger zijn „Prüfbuch für Werkzeugmaschinen", waarin beproevingsmethoden en normen werden beschreven voor de beoordeling van de nauwkeurigheid van de bewegingen van gereedschapswerktuigen. Dit boek markeerde het doorbreken van een nieuwe tijd. Tot dan toe werd de beoordeling van machines meestal overgelaten aan het ervaringsoordeel van de vakman die ermee moest werken. Nu was een basis gelegd voor een objectieve, op metingen berustende beoordeling.

Schlesingers meetmethoden en normen vertoonden, hoe belangrijk zij ook waren, de tekortkoming dat zij werden uitgevoerd aan de onbelaste, stilstaande machine. Hiermee was voorbijgegaan aan de zware eis dat de nauwkeurige bewegingen van deze machine moeten worden gerealiseerd onder een relatief zware dynamische belasting. De eisen die op dit punt aan de machine worden gesteld, zijn tussen 1930 en 1950 nog aanmerkelijk verzwaard als gevolg van het grote vermogen en de stabiliteit en trillingsvrijheid die nodig zijn bij het verspanen met hoogwaardige maar brosse snijmaterialen. Zij vallen echter buiten het bestek van Schlesingers „Prüfbuch".

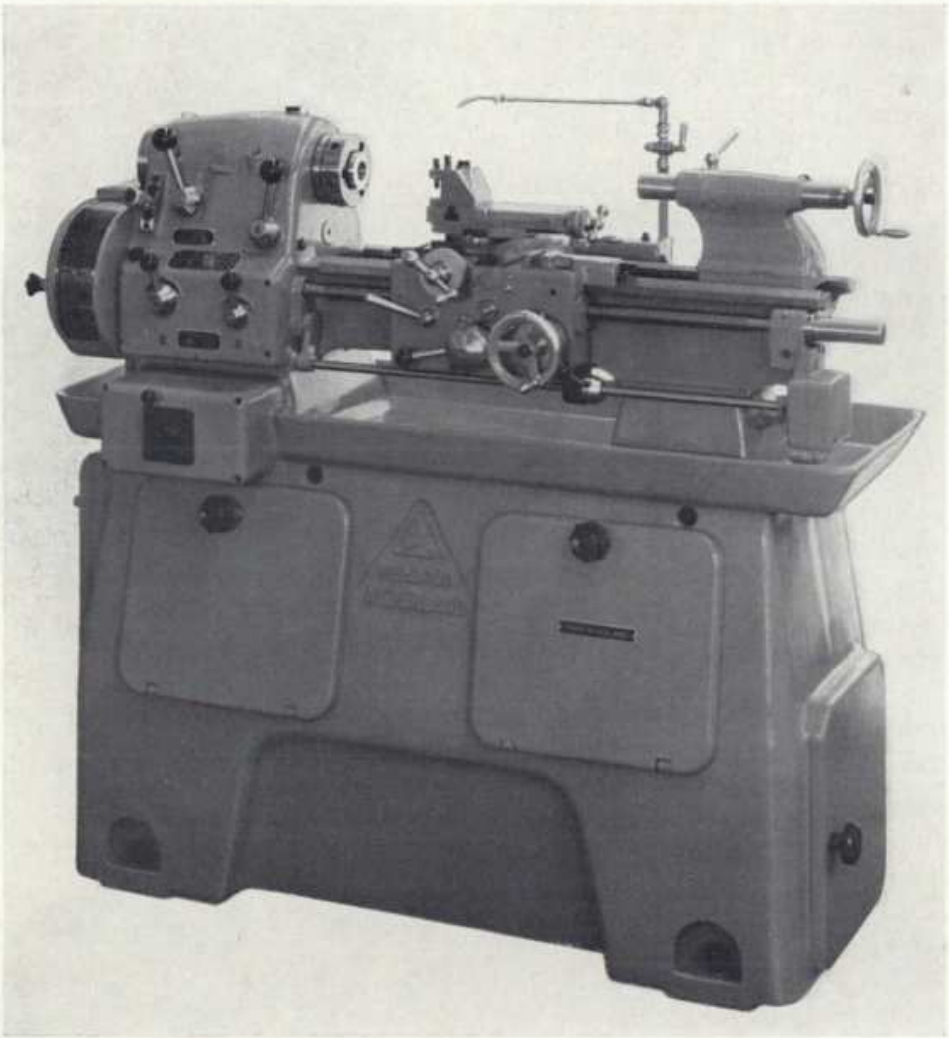


Fig. 4. De Nederlandse instrumentdraaibank AI-DR 1, ontworpen in 1940.

De bewegingen van een gereedschapswerktuig zijn te verdelen in de snijbeweging, de voedingsbeweging en het positioneren. Deze bewegingen omspannen te zamen een zeer groot snelheidsgebied, dat door de invoering van snelstaal en vooral hardmetaal nog aanzienlijk werd vergroot.

Tot in de jaren dertig waren de meeste hoofdspillagers van draai- en freesbanken nog als glijlager uitgevoerd. De hoge spilsnelheden, nodig voor het draaien met hardmetaal, veroorzaakten een aanzienlijke uitbreiding aan de hoge kant van het toerentalgebied dat door de machine moest worden omspannen. Een toe-

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

rentalgebied van 1 : 40 tot 1 : 60 werd voor een draaibank vrij normaal. Het is echter zeer moeilijk een glijlager te ontwerpen dat bij de laagste snelheden uit een dergelijk gebied voldoet aan de eisen die ten aanzien van de hydrodynamische stijfheid aan een hoofdlager van een draaibank moeten worden gesteld, en dat bij de hoogste snelheden niet warm loopt.

Tegen het einde van de jaren dertig begon men, vooral in de Verenigde Staten, rol- en kogellagers voor de hoofdlagers van draai- en freesbanken te gebruiken. Dat met deze veel minder voor snelheid gevoelige lagers, mits van hoge kwaliteit en op de juiste wijze gemonteerd, goede resultaten konden worden bereikt, bewees de instrumentendraaibank AI-DR 1 (*fig. 4*). Dit, in 1940 ontworpen, eerste gereedschapswerktuig dat in Nederland in serie werd vervaardigd, was voorzien van kogellagers voor de lagering van de hoofdspil.

Na de oorlog zette het gebruik van voorgespannen kogel- en rollagers goed door. De in het kader van de Marshall-hulp in grote aantallen naar Europa geleverde Monarch-draaibank en ook de zo succesvolle Cazeneuve-draaibank hadden rollagers in hun hoofdlager.

De kogelkringloopmoer maakt de absolute nauwkeurigheid bij het positioneren, zoals dat bij numerieke besturing nodig is, mogelijk. De toepassing van kogels en rollen in de elementen die de rechtlijnige bewegingen van gereedschapswerktuigen verzorgen, is echter een vijfentwintigtal jaren later gekomen dan hun toepassing in de hoofdlagers van draai-, frees- en slijpbanken.

Aan de op rollende wrijving berustende lageringen zijn enkele, niet onbelangrijke, nadelen verbonden. Hun geringer dempend vermogen is zowel in aslageringen als in rechtgeleidingen een nadeel. Bovendien is een rol- of kogellager niet nauwkeuriger dan de elementen waaruit het is samengesteld. Iedere kleine fout van de rollen, kogels of loopringen veroorzaakt een verstoring van de door het lager gestuurde beweging. De oliefilm van een glijlager heeft daartegenover het vermogen dit soort kleine, onsystematische fouten te vereffenen, zodat de nauwkeurigheid van de geproduceerde beweging beter is dan die van de onderdelen van het lager.

De hydrostatische lagering, die in de jaren zestig sterk naar voren is gekomen, verenigt tot op zekere hoogte de voordelen van de twee lagersystemen. Omdat de smeerfilm in stand wordt gehouden door een externe pomp en daarom onafhankelijk is van de glijsnelheid, is deze lagering bij uitstek geschikt voor zeer langzame bewegingen zoals die zich bij het positioneren voordoen op het kritieke moment van het stoppen in de juiste positie. Om deze reden is de toepassing van hydrostatische lagering in de rechtgeleidingen van zeer nauwkeurige meet- en bewerkingsmachines zinvol. Machines voor produktie en reproduktie van de in de geminiaturiseerde elektronica gebruikte fotomaskers zijn hiervan goede voorbeelden. Zie ook de titelfoto [11].

Ook aan de hoge kant van de snelheidsschaal heeft de hydrostatische lagering belangrijke voordelen. De gewenste grote stijfheid bij lage snelheid hoeft niet te worden bereikt door een lagerspeling te kiezen die voor de hoogste snelheid te klein is. Een groot deel van het lageroppervlak bestaat zelfs uit kamers die een, in verhouding tot de gebruikelijke lagerspeling, grote diepte hebben, hetgeen de viskeuze wrijving sterk vermindert. Bovendien wordt de in het lager ontwikkelde warmte door de circulerende en buiten het lager gekoelde oliestroom afgevoerd.

De stijfheid van een hydrostatisch lager is zeer goed en kan door toepassing van een in het oliecircuit opgenomen regelsysteem zelfs onbeperkt worden opgevoerd. Met de in het Natuurkundig Laboratorium ontwikkelde membraanrestricties kan een oneindige stijfheid worden bereikt.

Het hardmetaaltijdperk, dat in de jaren dertig een aanvang nam, dwong tot het construeren van stabielere machines en gereedschappen. Merkwaardig genoeg hebben nieuwe snijmaterialen als hardmetaal en keramiek de krachten die bij de verspaning optreden, eerder af dan toe doen nemen. Het vermogen dat bij de aandrijfmotor de machine binnenkomt, en dat geheel in en om de machine wordt gedissipeerd, is echter op spectaculaire wijze toegenomen. In de Nederlandse vertaling van „Scholls Führer des Maschinisten" uit 1892 zijn de grootste vermogens vermeld die nodig waren voor de zwaarste verspaning uit die tijd: „Eene groote kopdraaibank, welke zware krullen snijdt, verbruikt tot 2½ PK", en „Tot het uitboren van cylinders voor stoomwerktuigen, blaasmachines enz. rekent men 2 tot 3 PK". Met de eerste machine vergelijkbare moderne draaibanken hebben al gauw een vermogen van enige tientallen pk nodig.

Een belangrijk deel van de problemen die voor de ontwerper van gereedschapswerktuigen voortkwamen uit de invoering van hardmetaal, hebben betrekking op de beheersing van de sterk vergrote vermogensstroom door de machine. Een deel van dit vermogen kan zich onder bepaalde omstandigheden van de hoofdstroom afsplitsen en trillingen van machine, gereedschap of werkstuk opwekken. Dergelijke door het verspaningsproces veroorzaakte resonantietrillingen moeten uiteraard worden vermeden. Het aanvankelijk nog geringe succes bij de toepassing van hardmetaal, en later bij de nog brossere snijmaterialen, is voor het grootste deel te wijten aan het optreden van dit soort trillingen.

Zelfopgewekte trillingen („tool chatter") waren ook

[11] H. J. J. Kraakman en J. G. C. de Gast, Een precisiedraaibank met hydrostatische lagering en aandrijving, Philips techn. T. **30**, 121-137, 1969 (no. 5).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bij snelstaal niet onbekend, en de bedienende vakman wist meestal, na enig zoeken en tasten, de condities wel te vinden waarbij de verspaning stabiel verliep. Bij gebruik van hardmetaal waren de gevolgen van dergelijke trillingen door het grotere in het spel zijnde vermogen en de brosheid van het snijmateriaal vrijwel steeds, nog voor de man kon ingrijpen, fataal voor het gereedschap.

Aanvankelijk ging de constructeur bij het ontwerpen van stijvere machines min of meer intuïtief te werk, door het opvoeren van de stijfheid van alle vitale machine-onderdelen. Hierbij werd vaak ook de massa van deze delen vergroot, zodat het effect van de genomen maatregelen op de dynamische stabiliteit van de machine wat onzeker was.

In het laatste decennium wordt het dynamische gedrag van gereedschapswerktuigen op intensieve wijze bestudeerd (*fig. 5*). Het trillingsgedrag van de machine in zijn vele vrijheidsgraden wordt berekend en gemeten, en anderzijds vormt het mechanisme van de overdracht van vermogen uit het verspaningsproces op het trillende systeem een belangrijk object van onderzoek [12]. De praktische toepassing van de aldus verworven kennis is moeilijk, doordat de voortdurend wisselende werkstukken en gereedschappen een integrerend deel van het trillende systeem vormen. Het probleem is echter urgent, omdat de onvoorspelbaarheid van het optreden van verspaningstrillingen een van de grootste problemen bij de invoering van numerieke besturing blijkt te zijn.

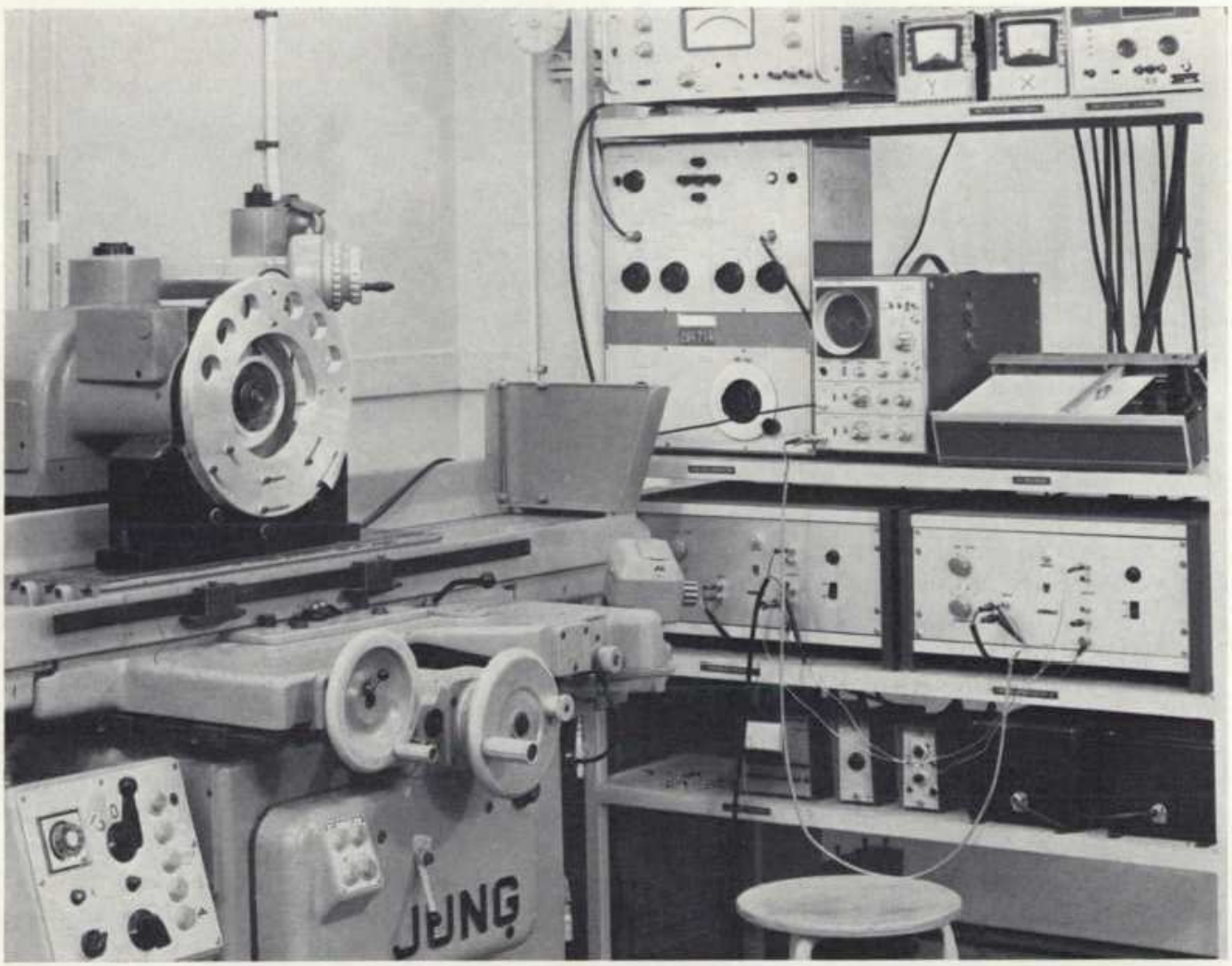


Fig. 5. Trillingsonderzoek aan een vlakslijpbank in Philips' Centrum voor Fabricagetechnieken. De machine wordt daarbij langs elektrodynamische weg in trilling gebracht.

Naast zelfopgewekte trillingen kunnen ook gedwongen trillingen of stoten het verspaningsproces verstoren. De stoten van op elkaar ingrijpende tanden van de tandwieloverbrenging kunnen, wanneer zij tot de klauwplaat doordringen, een fijn gedraaid oppervlak op grondige wijze bederven. Om deze reden zal de constructeur van een nauwkeurige draaibank er naar streven een transmissie-element van geringe stijfheid tussen de tandwielkast en de hoofdspil aan te brengen. In de befaamde Kärger-draaibank (*fig. 6*) uit de jaren dertig was voor dit doel tussen de raderkast en de hoofdspil een eindloze vlakke riem aangebracht, zodat,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

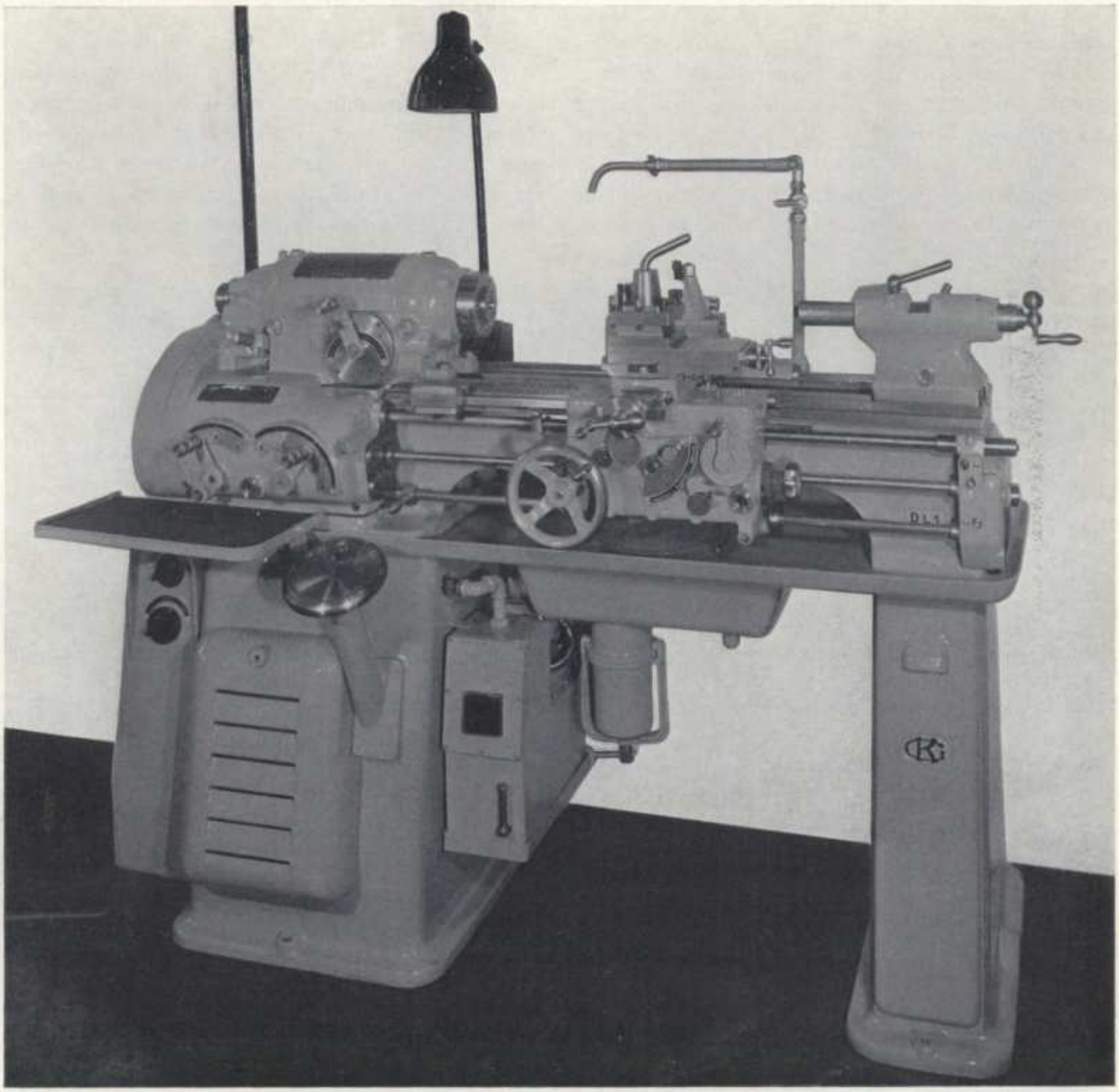


Fig. 6. Kärger-draaibank DL 1. Deze bank had in de jaren voor de tweede wereldoorlog een zeer goede reputatie als fijndraaibank.

althans bij de spilsnelheden die voor het nadraaien worden gebruikt, tandwielen en werkstuk geheel van elkaar waren geïsoleerd. De machine had als fijndraaibank een zo goede reputatie dat velen het verdwijnen ervan, als gevolg van de oorlogsomstandigheden, zeer hebben betreurd.

Het lage koppel dat een vlakke riem bij aanvaardbare riemtrek kan overbrengen, maakt hem minder geschikt om achter de raderkast in de transmissie te worden opgenomen. Latere succesvolle draaibanken als de reeds genoemde AI-DR 1 en de Cazeneuve (*fig. 7*) uit de jaren vijftig en zestig gebruikten, bij dezelfde basisopzet als de Kärger-bank, V-riemen om het vermogen van de raderkast op de hoofdspil over te brengen.

Het door de motor aan de machine toegevoerde vermogen wordt uiteindelijk geheel in warmte omgezet. Door de wrijvingsverliezen in riemen, lagers en tandwielen wordt voldoende warmte ontwikkeld om de betrokken onderdelen tot tientallen graden boven de omgevingstemperatuur te verwarmen. Het door de verspaning opgenomen nettovermogen wordt eveneens in warmte omgezet, die wordt verdeeld over de werkstukken, het gereedschap en de spaan. Een belangrijk deel van deze warmte gaat door geleiding over op de machine. De niet onaanzienlijke thermische vervormingen van de machine, die hiervan het gevolg zijn, hebben jarenlang verrassend weinig belangstelling gekregen.

[12] J. Peters en P. Vanherck, Ein Kriterium für die dynamische Stabilität von Werkzeugmaschinen, Industrie-Anzeiger **85**, 168-174 en 342-346, 1963.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De reden daarvan was dat de vakman, door het regelmatig meten van zijn werkstukken, goed in staat was de nodige correcties in zijn machine-instelling aan te brengen. Verdergaande automatisering door middel van numerieke besturing verlegt de maatbepaling van het werkstuk van het losse meetinstrument naar de plaatsopnemers op de machinesleden en brengt hiermee de thermische vervorming van de machine als storende factor binnen het meetcircuit. In het laatst van de jaren zestig is de belangstelling voor de thermische vervorming van gereedschapswerktuigen dan ook sterk toegenomen.

De grootte van de in en om de machine in warmte omgezette vermogensstroom doet vermoeden dat storende warmtebronnen nooit geheel zullen kunnen worden vermeden. Het meten van temperaturen en het daaruit om wille van correcties berekenen van machinevervormingen, een vorm van „adaptive control", lijkt een waarschijnlijker oplossing.

Veertig jaar passen en meten

De fabricage van verwisselbare onderdelen, waarvan de oorsprong in het prille begin van de negentiende eeuw in de wapenfabriek van Eli Whitney in Massachusetts U.S.A. moet worden gezocht, vond in de jaren dertig van de twintigste eeuw zijn bekroning in het werk van de I.S.A. (International Standards Association, later: I.S.O., International Standardization Organization) betreffende een voor de gehele wereld geldig passingstelsel.

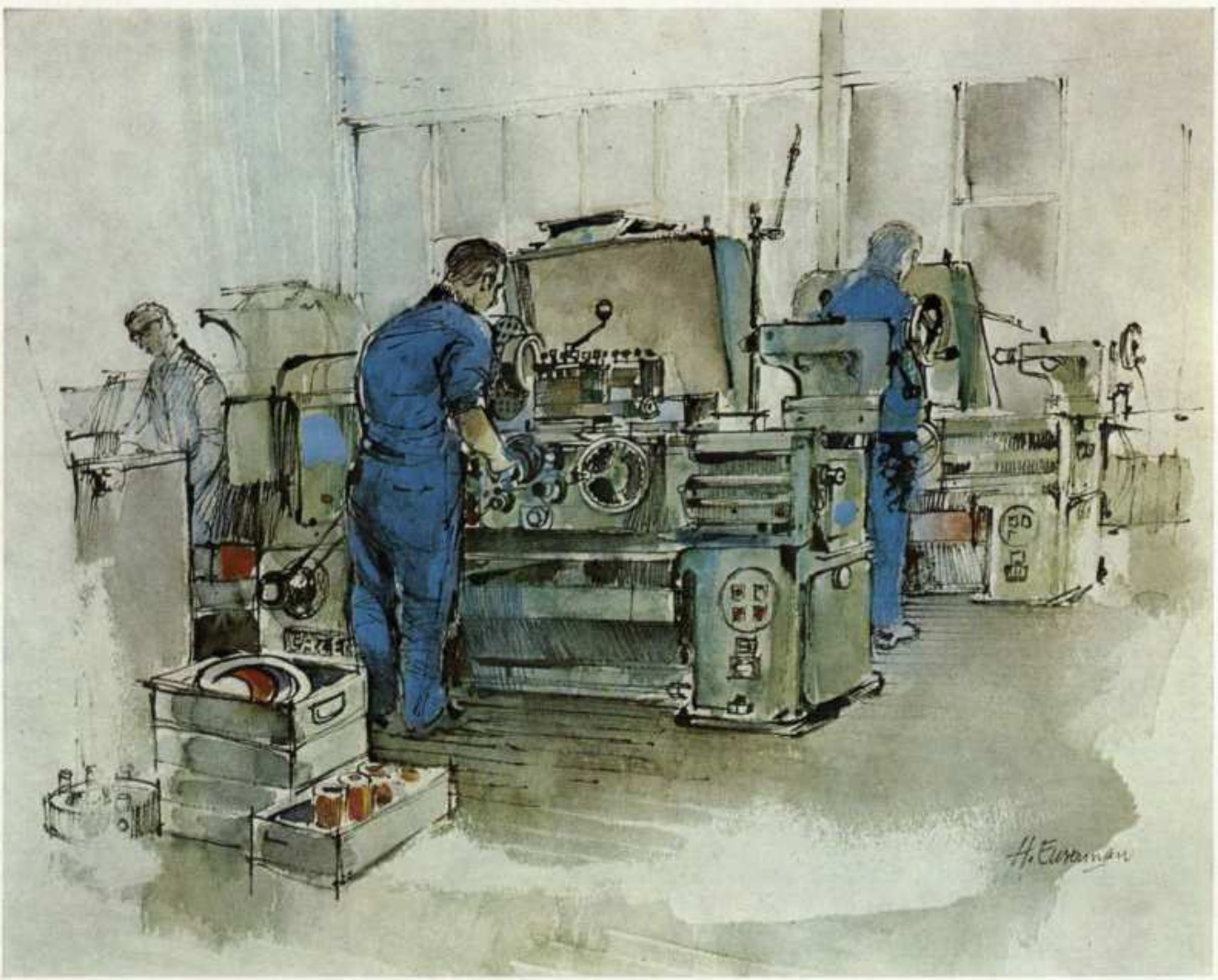


Fig. 7. Cazeneuve-draaibanken in Philips' Machinefabrieken. (Tekening H. Euverman.)

De verwisselbaarheid van onderdelen is in de massafabricage een absoluut vereiste, en de automobielindustrie heeft dan ook de grote stoot gegeven tot het doordringen daarvan in de civiele produktie. Het jaar 1908 was om twee redenen een groot jaar. Henry Ford introduceerde in dat jaar zijn Model T, waarvan er 15 000 000 zouden worden gemaakt, en Henry M. Leland liet op de „Brooklands" auto-renbaan van de Britse Royal Automobile Club drie Cadillacs volledig

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

demonteren waarna de onderdelen als speelkaarten werden „geschud". Na vervanging van 89 van deze delen door willekeurige service-onderdelen, werden opnieuw drie Cadillacs samengesteld, welke auto's een foutloze proefrit van 500 mijl maakten.

Ondanks dit alles bleef de fabricage nog sterk afhankelijk van het „pasmaken" van onderdelen. Typerend voor de situatie in de jaren dertig is dat de werkplaats als hulpmiddel bij de beheersing van de maatvoering alleen beschikte over kalibers.

Kalibers zijn uitstekende controle-hulpmiddelen, de veel gebruikte namen „goedkeur-" en „afkeurkaliber" geven goed weer waarvoor zij dienden; echt meetgereedschap mogen zij niet worden genoemd. De vakman aan zijn machine bleef aangewezen op alle oude vaardigheden en trucs van het „pasmaken". Wel maakte hij nu alle gaten pas op een penkaliber en alle assen in een ringkaliber, zodat een redelijk goede verwisselbaarheid was gewaarborgd. Omdat echter het kaliber de vakman in feite niet veel meer informatie verschafte dan het geslaagd of mislukt zijn van zijn bewerking, moest menig nauwkeurig werkstuk een aantal malen worden gemaakt voordat het met het kaliber kon worden „goedgekeurd". Uiteraard bracht deze stand van zaken de vakman tot een omzichtige, weinig produktieve stijl van werken zodra het om nauwkeurige werkstukken ging. Het oude gezegde omtrent het „passen en meten" is duidelijk onjuist en zou moeten luiden: „Met passen zonder adequaat meten wordt onnodig veel tijd versleten". Het heeft tot in de jaren vijftig geduurd voordat hulpmiddelen tot de werkplaats doordrongen waarmee kon worden gemeten in de zin die daaraan in de fysica wordt gegeven. Alleen aanwijzende meetgereedschappen zijn in staat om de kwantitatieve teruggekoppelde informatie omtrent de bereikte maat te verschaffen die nodig is voor het besturen van de bewerking.

Uiteraard heeft de beschreven gang van zaken duidelijke oorzaken gehad. Aanwijzend meetgereedschap met een nauwkeurigheid die, zoals dat bij meten behoort, een orde van grootte beter is dan de aan de werkstukken gestelde eis, is bijna onvermijdelijk zo teer en kwetsbaar dat het gauw wordt beschadigd en ontregeld. De aanwezigheid van miswijzend meetgereedschap in een werkplaats kan desastreuze gevolgen hebben.

Een cilinder, hetzij as of gat, kan veel verschillende vormafwijkingen vertonen. De interpretatie van een aan een dergelijk werkstuk verrichte meting is moeilijk. Daar komt nog bij dat het verband tussen de maatverschillen van een as en een gat enerzijds en het functioneren van hun passing anderzijds, minder eenvoudig is dan door een passingstelsel wordt gesuggereerd. De materiaalcombinatie, de geometrische en fysische gesteldheid van de te paren oppervlakken en het karakter van aanwezige vormfouten hebben alle invloed op het functioneren van de passing. Pen- en askaliber simuleren bij hun gebruik in de controle de constructieve functie van een passing, waarbij, mits het „principe van Taylor" in acht wordt genomen, vormfouten automatisch op de juiste wijze worden verdisconteerd.

In de jaren vijftig gebruikte Solex, fabrikant van carburateurs en bromfietsen, lucht voor de meting van de openingen van sproeiers. Door de lucht te laten stromen door in serie geschakelde restricties, waarvan er één bekend en de andere onbekend is, kan de grootte van de onbekende restrictie met grote nauwkeurigheid worden vastgesteld. Als de onbekende restrictie bestaat uit een uitstroomopening die het werkstuk meer of minder dicht benadert, is hiermee een pneumatische meetmethode verkregen die een zeer grote gevoeligheid combineert met een geringe kwetsbaarheid. Naast de luchtmeetapparatuur zijn in de jaren vijftig en zestig vele andere, mechanische en elektronische meetopnemers uitgebracht die alle hebben bijgedragen tot een evolutie in de werkplaats: „van passen naar meten".

Minstens zo belangrijk als de meetmiddelen is echter de kennis die nodig is om ze te gebruiken. Deze kennis geldt niet alleen het hanteren van de kostbare en gevoelige instrumenten, maar vooral de keuze van het juiste instrument en de juiste methode voor de te verrichten meting (*fig. 8*). Het plaatsen van een meetexpert in de werkplaats, die de uitgifte van meetmiddelen verzorgt en die bij het uitgeven van de instrumenten de nodige aanwijzingen geeft voor de inrichting van een geschikte meetopstelling, is een goede oplossing voor dit probleem.

Meettechniek en kwaliteitszorg zijn in de mechanische sector steeds nauw met elkaar verweven. Bij de geschetste ontwikkeling van de meettechniek van controlefunctie tot hulpmiddel bij de beheersing van de fabricageprocessen, past een methode van kwaliteitszorg die meer op sturen dan op controleren is gericht.

Het is altijd een goede gewoonte geweest de vakman verantwoordelijkheid te geven voor de kwaliteit van het door hem geleverde werk. In deze samenhang krijgt kwaliteitszorg de betekenis van zorg voor de middelen, methoden en organisatorische procedures die nodig zijn voor een goede zelfcontrole in de produktie.

De informatie die door de kwaliteitsdienst door middel van de klassieke eindcontroles nog steeds moet worden verzameld, dient tot het bewaken en besturen van de eigen controleprocedures van de verantwoordelijke produktie-instanties. De verzamelde informatie moet worden gebruikt om de kritieke punten in de fabricage op te sporen en om na te gaan of de op die plaatsen gebruikte werkmethoden en meetmiddelen in staat zijn de gewenste kwaliteit te waarborgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

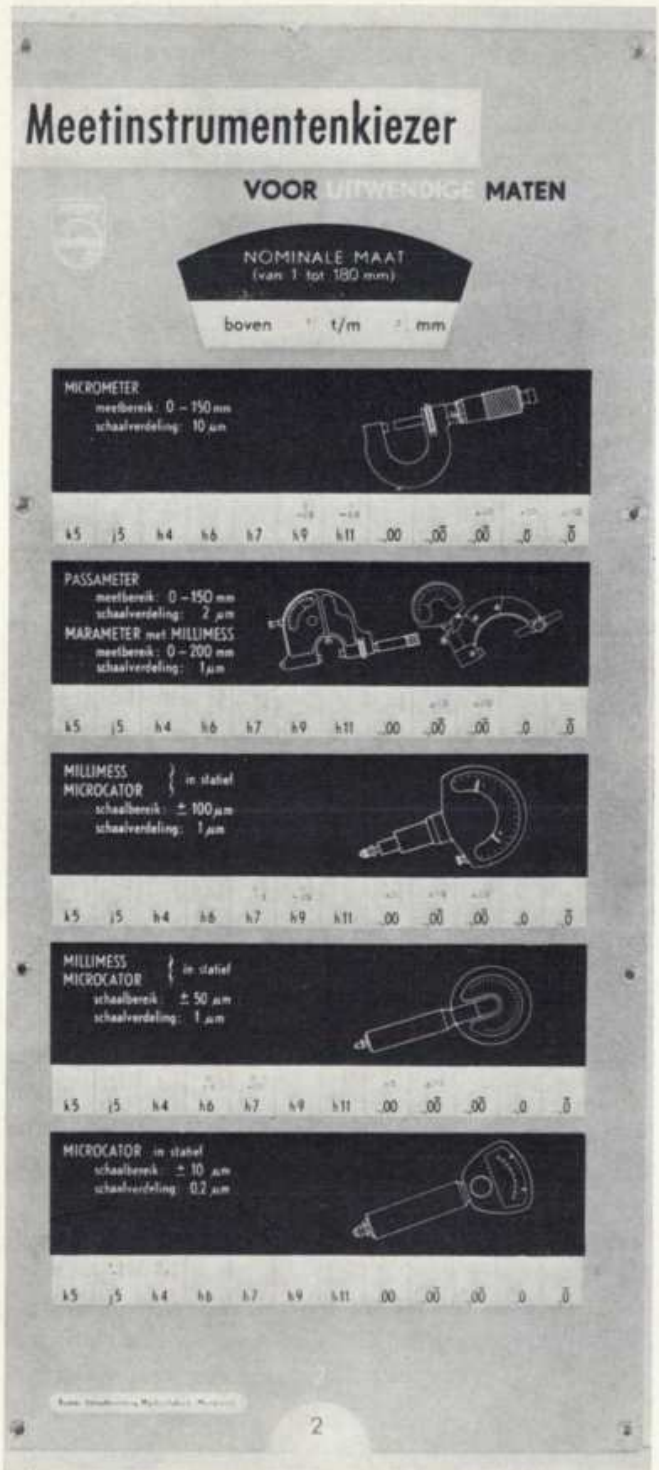


Fig. 8. Schuif met gegevens ten behoeve van de juiste keus van aanwijzend meetgereedschap. De vensters bevinden zich in de horizontale witte stroken.

De meest opvallende fundamentele ontwikkeling in de lengtemeettechniek in de laatste veertig jaar is het naar voren komen van interferometrische meetmethoden. De platina meter van het Bureau International des Poids et Mesures werd als lengtestandaard vervangen door de golflengte van een bepaalde lijn van het spectrum van krypton-86.

De mogelijkheden van de interferometrie kregen een ongekende uitbreiding door de uitvinding van de laser. Het zeer intense monochromatische, streng coherente licht van de laser maakte interferometrische metingen mogelijk bij verschillen in lichtweg van tientallen meters (*fig. 9*). De snelheid en betrouwbaarheid van de digitale elektronica maakte het tellen van het astronomische aantal interferentiebanden dat bij dergelijke metingen aan de orde komt, tot een praktische mogelijkheid.

Hetzelfde laserlicht maakte het mogelijk de vorm van een werkstuk in een hologram vast te houden. Doordat het mogelijk is door samenstelling van hologrammen de bekende interferentiebeelden te maken, is het mogelijk werkstukken vóór en na kleine vormveranderingen uiterst nauwkeurig met elkaar te vergelijken.

De laserinterferometrie is zo jong dat het toepassingsgebied ervan waarschijnlijk nog niet volledig is ontdekt en geëxploiteerd.

Veertig jaar plaat- en constructiewerk

Constructiewerk bestaat grotendeels in het vormgeven door samenstellen. Geen wonder dat de technieken voor het maken van permanente verbindingen als klinken, lassen en in bijzondere gevallen ook lijmen, bij de ontwikkeling van de laatste veertig jaar de toon aangeven. In het zware constructiewerk is thans het heetklinken vrijwel totaal vervangen door elektrisch booglassen.

In het fijne plaatwerk heeft het weerstandlassen een enorme ontwikkeling doorgemaakt en in de vliegtuigbouw, waar de bijzondere eigenschappen van de met een laag zuiver aluminium beklede duraluminiumplaat de toepassing van thermische verbindingsmethoden ontoelaatbaar maakt, vindt het metaallijmen steeds meer toepassing.

In de jaren dertig gold het elektrisch booglassen als een verbindingsmethode die niet kon worden gebruikt waar aan de sterkte en de betrouwbaarheid van de verbinding hoge eisen worden gesteld. Stoomketels en schepen, bij voorbeeld, behoorden om wille van de veiligheid nog steeds te worden geklonken en de bouw van een gelaste brug was al eens verkeerd afgelopen.

De bekleding van de laselektrodes uit de jaren dertig beschermde de overgaande metaaldruppels, behalve door een uit de bekleding gevormde slak, door middel van gas dat ten gevolge van de reactie van ijzer en waterdamp sterk waterstofhoudend was. In bepaalde gevallen trad hierdoor ernstige porositeit van de las op, en waar dit niet het geval was veroorzaakte de in het metaal opgeloste waterstof vaak microscheurtjes onder en naast de lasrups. Dit was vooral het geval in koolstofhoudend staal, dat op deze plaatsen een martensietachtige structuur kan aannemen [14].

De bekleding van de elektrode, die het lassen met een elektrische vlamboog mogelijk had gemaakt, bescherm-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de het neersmeltende metaal aanvankelijk vrijwel alleen tegen de stikstof uit de lucht. Het streven om door middel van reducerende toevoegingen aan de bekleding de invloed van zuurstof te verminderen, riep, zolang het gas uit de bekleding nog veel waterdamp bevatte, het waterstofprobleem op [15]. Alleen door het lassen onder poederdek, waar de bescherming van het lasmetaal door de slak plaatsvond zonder dat daar gassen aan te pas kwamen, leverde lassen op die niet de gevaarlijke zwakheden vertoonden die het gevolg waren van de waterstof in het boogplasma.

Pas in de jaren vijftig gelukte het een bruikbare elektrodebekleding te maken die een waterdampvrije gasmantel produceerde waarmee volledig betrouwbare elektrische lassen konden worden gemaakt.

Een andere belangrijke ontwikkeling, die zich pas na de tweede wereldoorlog heeft voorgedaan, is de toepassing van inerte beschermgassen als helium en argon. Het „argon arc"-lassen, thans TIG-lassen genoemd, bleek voortreffelijke resultaten op te leveren bij het lassen van dunne platen aluminium en roestvrij staal. Voor het belangrijkste van alle constructiematerialen, gewoon vloeistaal, was de methode helaas niet bruikbaar.

De zg. basische elektrode, waarvan de gasmantel na eliminatie van alle waterstofhoudende bestanddelen uit een mengsel van CO en CO_2 bestond, inspireerde tot het gebruik van een overeenkomstig gasmengsel bij het lassen met gasbescherming. Uiteraard viel aan het gebruik van grote hoeveelheden van het giftige CO-gas in een werkplaats niet te denken en daarom werd onder zuiver CO_2-gas gelast (*fig. 10*). De niet afsmeltende wolfraamelektrode was met dit beschermgas niet te gebruiken. De elektrode moest bestaan uit een afsmeltende draad die tevens de deoxydantia bevatte die nodig

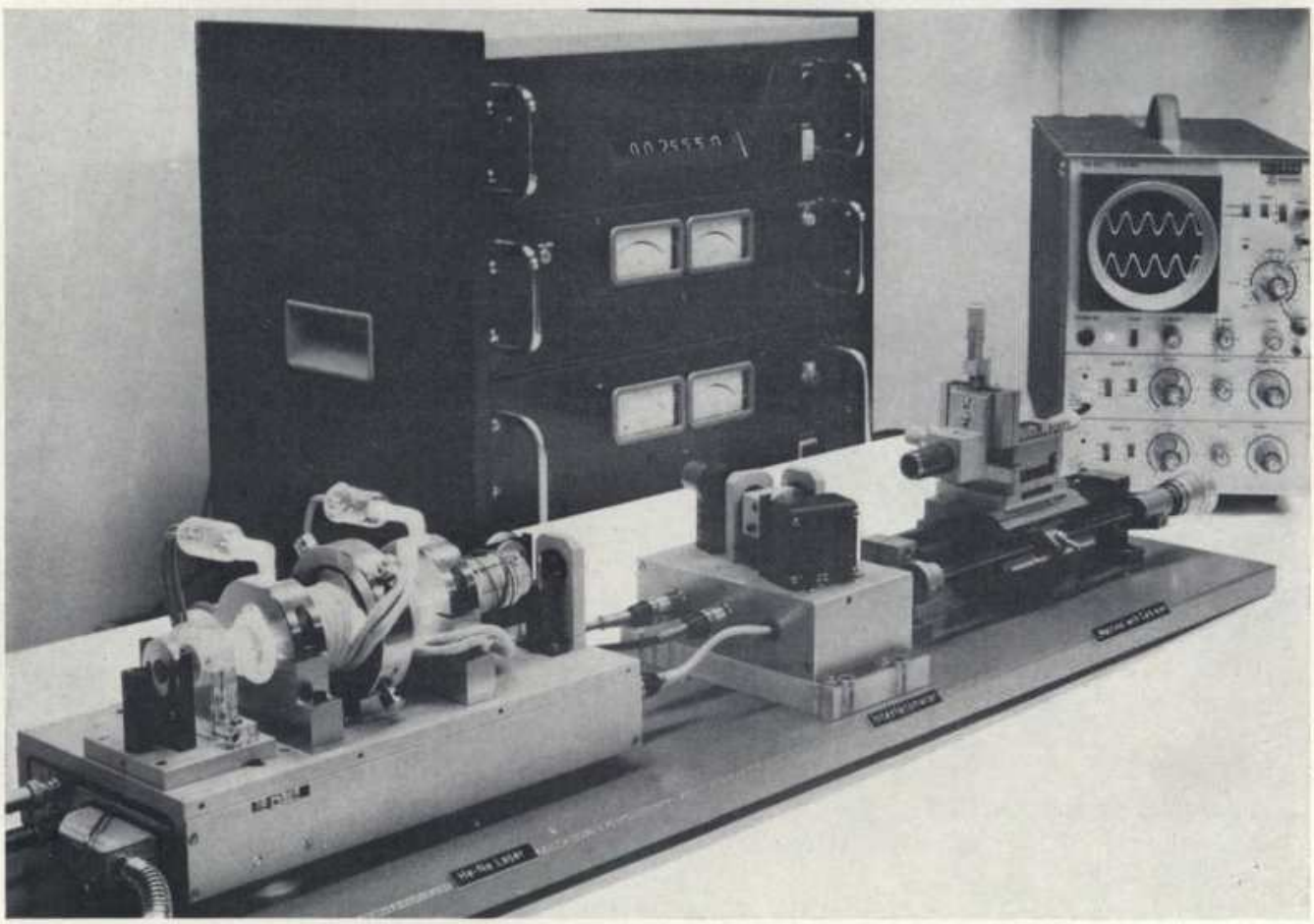


Fig. 9. Opstelling voor verplaatsingsmetingen door middel van interferentie van laserlicht in een gemodificeerde Michelson-interferometer [13]. Links een gestabiliseerde helium-neonlaser. Drie van de vier interferometerspiegels bevinden zich op het chassis in het midden, de vierde op het werkstuk rechts. De teller telt het aantal kwartgolflengten waarover het werkstuk verplaatst wordt.

[13] Zie hiervoor H. de Lang en G. Bouwhuis, Nauwkeurige digitale verplaatsingsmetingen met optische middelen, II. Interferometrische verplaatsingsmeting met een laser, Philips techn. T. **30**, 164-169, 1969 (no. 6/7).

[14] J. D. Fast, Oorzaken van porositeit in lasnaden, Philips techn. T. **11**, 101-110, 1949.

[15] P. C. van der Willigen, Booglasmethodes voor staal en de rol die de waterstof daarbij speelt, Chem. Weekblad **57**, 170-176, 1961.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

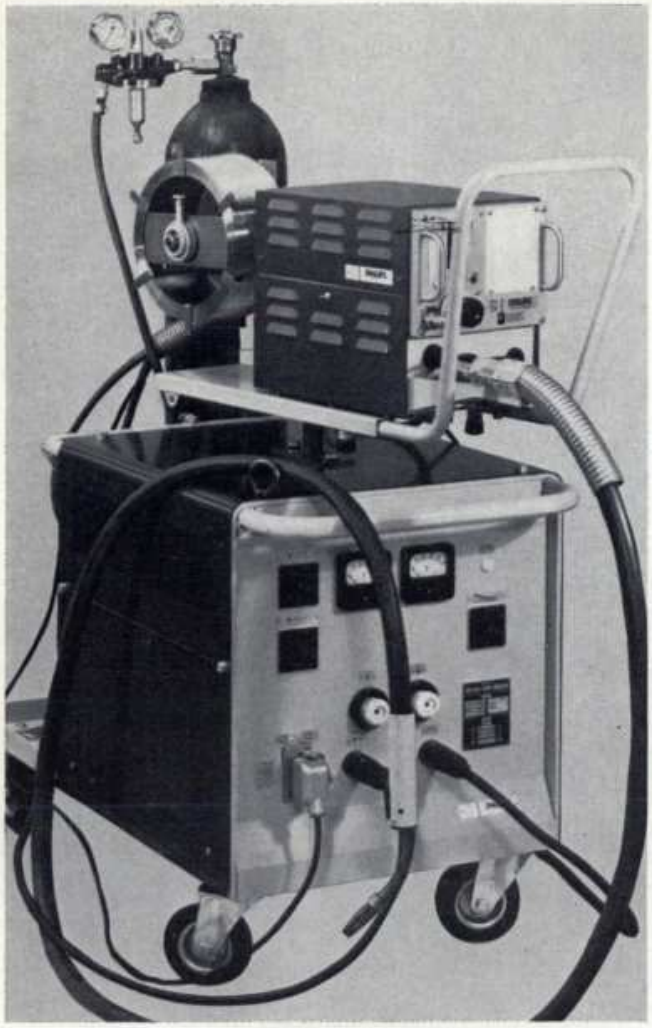


Fig. 10. Philips CO_2-lasapparaat.

waren om de oxyderende werking van het CO_2 te compenseren. Met het CO_2-procédé kon vloeistaal wèl worden gelast [16].

De ideale bescherming van een las wordt verkregen door de gasatmosfeer rond de lasplaats geheel te elimineren. Moderne reactieve metalen als titaan en zirkonium kunnen alleen in een uiterst zuiver edelgas of in vacuüm worden gelast. Vacuüm vertegenwoordigt echter de gemakkelijkste weg om de concentratie van ongewenste gassen tot een extreem lage waarde te beperken. De plasmaboog is als verhittingsbron in vacuüm niet bestaanbaar en de bundel snelle elektronen moet het werk overnemen. De elektronenbundel heeft bovendien voor het lassen nog andere zeer aantrekkelijke eigenschappen.

Wanneer wij de ontwikkeling van het smeltlassen overzien, valt het op dat één grootheid, nl. het per oppervlakte-eenheid toegevoerde vermogen, hier verder de *vermogensdichtheid* genoemd, voortdurend is toegenomen. De zuurstof-acetyleenvlam is de enige open vlam die heet genoeg is om koolstofarm ijzer te smelten, maar heel veel reserve zit daar niet in en de vermogensdichtheid van de warmtestroom naar het tot het smeltpunt verhitte staal is niet zeer groot. Het plasma van de elektrische vlamboog biedt aanzienlijk betere mogelijkheden, en we zien bij de ontwikkeling van het elektrisch booglassen de vermogensdichtheid geleidelijk toenemen. De lasmethoden met gasbescherming laten een intensievere warmtestroom toe dan die met beklede elektrodes, en de verdere ontwikkeling van het MIG- of TIG-lassen gaat in de richting van het „constricted arc"- of plasmalassen. Het boogplasma wordt, met behulp van bepaalde kunstgrepen, nog sterker op de te verhitten plaats geconcentreerd om de vermogensdichtheid van de warmtebron verder te vergroten. De bundel snelle elektronen is in dit opzicht welhaast de ideale warmtebron. De vermogensdichtheid is extreem groot en de bundel laat zich met elektronenoptische hulpmiddelen zeer goed focusseren en sturen. De bereikbare vermogensdichtheid wordt alleen overtroffen door die van de laser.

Bij het lassen van constructiewerk is warmte een noodzakelijk kwaad. Bij het „vormgeven door samenstellen" moeten de onderdelen van een constructie zo nauwkeurig mogelijk in de juiste onderlinge positie worden gefixeerd. Trekken van de constructie door warmte die zich vanuit de lasplaats verspreidt, moet zo veel mogelijk worden vermeden. Bij het vermijden van deze „thermische contaminatie" vertegenwoordigt het elektronenstraallassen al evenzeer de top van het haalbare als op het punt van de chemische contaminatie!

Een andere lasmethode die ten aanzien van het trekken door verwarming van de constructie een zeer goed figuur slaat is het weerstandlassen. Ook hier wordt de gunstige situatie bereikt door de zeer hoge vermogensdichtheid van de toegevoerde energie. Een bijkomend voordeel van het weerstand- of puntlassen is dat de puntlaselektrodes tevens als lasklem fungeren en de te lassen onderdelen in hun onderlinge positie fixeren. Het tempo van het lassen is, in verhouding tot het smeltlassen, extreem hoog, zodat de lasmethode economisch zeer aantrekkelijk is.

Tegenover dit alles staat dat het bijna onmogelijk is om de onzichtbare, tussen de platen ontstane verbinding anders dan langs destructieve weg te controleren. Het gevolg hiervan was dat het puntlassen in de jaren dertig als een goedkope, weinig betrouwbare verbindingsmethode bekend stond, die bovendien alleen van toepassing was op het gemakkelijk te lassen vloeistaal.

Het puntlassen heeft zich, vooral na de oorlog, ontwikkeld in de richting van een grotere reproduceerbaarheid van het proces om wille van een grotere betrouwbaarheid van de las. Dit was vooral te danken aan het gebruik van elektronische inrichtingen die via thyratrons en ignitrons de primaire stroom van de las-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

transformator bestuurden. Dezelfde apparatuur bestuurde, synchroon met het toegevoerde vermogen, de elektrodedruk, zo nodig volgens een complex druk-tijd-programma. Het nauwkeurige schakelen van het toegevoerde vermogen, synchroon met het net, maakte een sterke verkorting van de lastijd mogelijk bij een omgekeerd evenredig vergroot vermogen. De aldus sterk vergrote vermogensdichtheid bracht moeilijk lasbare, dat wil zeggen warmte en stroom goed geleidende, metalen als aluminium en aluminiumlegeringen, binnen het bereik van de lasmethode.

De besturing van het puntlasprocédé heeft zich ontwikkeld tot wat wel „predictive control" wordt genoemd. De procesparameters worden zo nauwkeurig gestuurd, dat het resultaat op grond van ervaring met eerder op identieke wijze uitgevoerde lassen op betrouwbare wijze kan worden voorspeld. Bij het puntlassen is, weer door de ontoegankelijkheid van de gemaakte las, nog geen algemeen toepasbare methode van „adaptive control" gevonden.

Integrale plaatconstructies

Hoewel de grondgedachte van de integrale plaatconstructie van oudere datum is, is deze constructiewijze in de jaren dertig snel tot ontwikkeling gekomen. De meerderheid van de plaatconstructies heeft twee functies, nl. het „dragen" en het „omhullen" van hun inhoud. Bij de oude constructies treft men een gestel van ribben, spanten e.d. aan dat de dragende functie vervult, en een bekleding voor de omhullende functie. De twee functies kunnen in een constructie met dragende of meedragende huid worden geïntegreerd.

Gedenkwaardige voorbeelden van integrale plaatconstructies uit de jaren dertig zijn de Douglas DC 2 uit 1934 en de carrosserie van de Citroën uit 1937. Zij immers luidden respectievelijk in de vliegtuigbouw en in de automobielfabricage een nieuw tijdperk in.

In minder spectaculaire toepassingsgebieden van plaat, zoals de bouw van kasten, panelen en lessenaars voor elektronische en elektrotechnische produkten en medische apparaten, drong de integrale plaatconstructie ook door. De verkrijgbaarheid van breedbandplaat, die de oude bekledingsstaalplaat wat betreft de kwaliteit van het oppervlak overtrof en daarbij nog goed buigbaar was, heeft de toepassing van integrale constructies, waaruit warmgewalste profielen geheel waren weggelaten, sterk bevorderd.

Het heeft ongetwijfeld voordelen dergelijke integrale plaatconstructies op te bouwen uit inherent stijve, in twee richtingen gekromde plaatdelen. De vervaardiging van dergelijke plaatdelen kan alleen geschieden met behulp van kostbare dieptrekgereedschappen. In de autoindustrie is dit, dankzij de enorm grote produktieaantallen, geen bezwaar, maar in de vliegtuigbouw wèl. Doordat de aërodynamische vormgeving daar ruimtelijk gekromde plaatdelen onmisbaar maakt, heeft men in deze tak van industrie andere wegen bewandeld.

De methoden waarbij van een trekgereedschap alleen het gemakkelijkst te vervaardigen gedeelte, de stempel, wordt gemaakt en de matrijs is vervangen door een vloeistof of door rubber, zijn door de vliegtuigindustrie ontwikkeld, maar hebben ook daarbuiten belangrijke toepassingen gevonden [17] [18]. Deze methoden, o.a. bekend onder de namen „hydroforming" en „marforming", maken het mogelijk bepaalde vormen, die bij gebruik van traditionele stalen trekmatrijzen vele trekken nodig zouden maken, in één trek te produceren [18].

Een nadeel van de hydroform-methode is dat men er een grote, kostbare pers voor nodig heeft. Bij het explosief vervormen wordt een dergelijke pers geheel overbodig; men heeft ook hier slechts een half gereedschap nodig, zij het juist het andere deel dan dat wat bij hydroforming wordt gebruikt. De rol van de stempel wordt overgenomen door een, d.m.v. een chemische explosie of elektrische ontlading in water opgewekte schokgolf, die aan de blenk een grote snelheid geeft. De vervorming van de plaat wordt tot stand gebracht met behulp van door de schokgolf op die plaat overgebrachte kinetische energie.

Beide methoden hebben tot nu toe slechts beperkte en meestal specialistische toepassing gevonden. De mode op het gebied van de vormgeving bewoog zich in de jaren zestig in de richting van scherpkantige, strakke vormen, die goed door middel van buigen zijn te vervaardigen. Het gevaar en het lawaai dat door de gebruikte explosieven — respectievelijk hun even gevaarlijke en lawaaiige elektrische analogon! — wordt geproduceerd, bleek een sterke rem op de verbreiding van de explosiemethode.

De traditionele plaatbewerkingen knippen, ponsen en buigen ontwikkelden zich weinig spectaculair, maar daarom niet minder betekenisvol. Een aanzienlijke verbetering van de nauwkeurigheid enerzijds en mechanisatie en rationalisatie anderzijds brachten, samen met de eerder gesignaleerde verbeteringen van de grondstof en de verbindingstechnieken, het plaatwerk op een veel hoger niveau en maakten het veelal tot een interessant alternatief voor andere, meer traditionele constructies. Het ponsen, reeds lang een bijzonder rationele bewerkingsmethode in de massafabricage, kwam ook in de seriefabricage tot zijn recht door de toepassing van coördinatenponsmachines met snelle gereedschapswis-

[16] P. C. van der Willigen, Enige moderne methodes voor het booglassen van staal, Philips techn. T. **24**, 14-27, 1962.
[17] H. Hermans en F. R. H. F. Vermeulen, Metaalvervorming met behulp van rubber, I, II, III, IV, Metaalbewerking **25**, 299-303, 320-324, 335-338, 361-366, 1959/60.
[18] W. van der Meulen, De technische mogelijkheden van hydroform, I, II, Metaalbewerking **29**, 232-235, 239, 253-258, 1963/64.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

seling, al of niet verkregen door toepassing van een gereedschaprevolver [19].

De elektrificatie en elektronificatie van de industrie ten slotte, hebben het belang van de kleine seriefabricage van plaatconstructies — als „dragende omhulling" van hun elektrotechnische of elektronische inhoud — snel doen toenemen.

Gereedschapmaken

In het decennium tussen de eerste wereldoorlog en 1930 nam de behoefte aan stempels en matrijzen dankzij de opkomst van de radioindustrie met sprongen toe. Het gereedschapmakersvak was in die jaren bijna een Duitse aangelegenheid. De Duitse meester-gereedschapmakers waren zeer bekwaam in hun vak, dat bestond uit een aantal moeilijke handbewerkingen die een goed mechanisch inzicht vroegen maar die vooral met groot geduld en toewijding moesten worden uitgevoerd om een gereedschap van de gewenste kwaliteit te verkrijgen. De produktiviteit van deze werkmethoden was gering, maar dit is bij de vervaardiging van gereedschappen, die niet meer dan enkele procenten van de kostprijs van het eindprodukt uitmaken, van minder belang. De kwaliteit van het gereedschap is bepalend voor die van het produkt, en deze had daarom een bijna volstrekte voorrang op de kosten.

De sterk toegenomen behoefte aan gereedschappen voor onderdelen voor radiobuizen en radioapparaten werd in Nederland aanvankelijk opgevangen door het in dienst nemen van Duitse gereedschapmakers, en al spoedig daarna door zorgvuldig geselecteerde jongens in het moeilijke gereedschapmakersvak te gaan opleiden. Tegelijkertijd nam echter een nieuwe ontwikkeling een aanvang: de moeilijkste onderdelen van het oude handwerk zijn in de laatste veertig jaar stuk voor stuk vervangen door snellere en meer trefzekere machinale bewerkingen [20].

Het aanbrengen van gaten in nauwkeurig bepaalde posities in de verschillende platen waaruit een stempel is samengesteld, was een van de meest wezenlijke bewerkingen waarin de meester-gereedschapmaker uitblonk. Voor de uitvoering ervan beschikte hij, behalve over een stel eindmaten — destijds zijn eigen bezit! — over hulpgereedschappen en werkmethoden die hij vaak als zijn „vakgeheim" beschouwde.

De coördinatenboormachine, waarvan Moore in de Verenigde Staten en de Société Genevoise des Instruments de Physique (SIP) in Europa tot de pioniers behoorden, verdrong reeds in de jaren dertig de traditionele handmethoden voor het positioneren van gaten (*fig. 11*). De jonge elektronische industrie liep met zijn grote behoefte aan gereedschappen in deze ontwikkeling voorop.

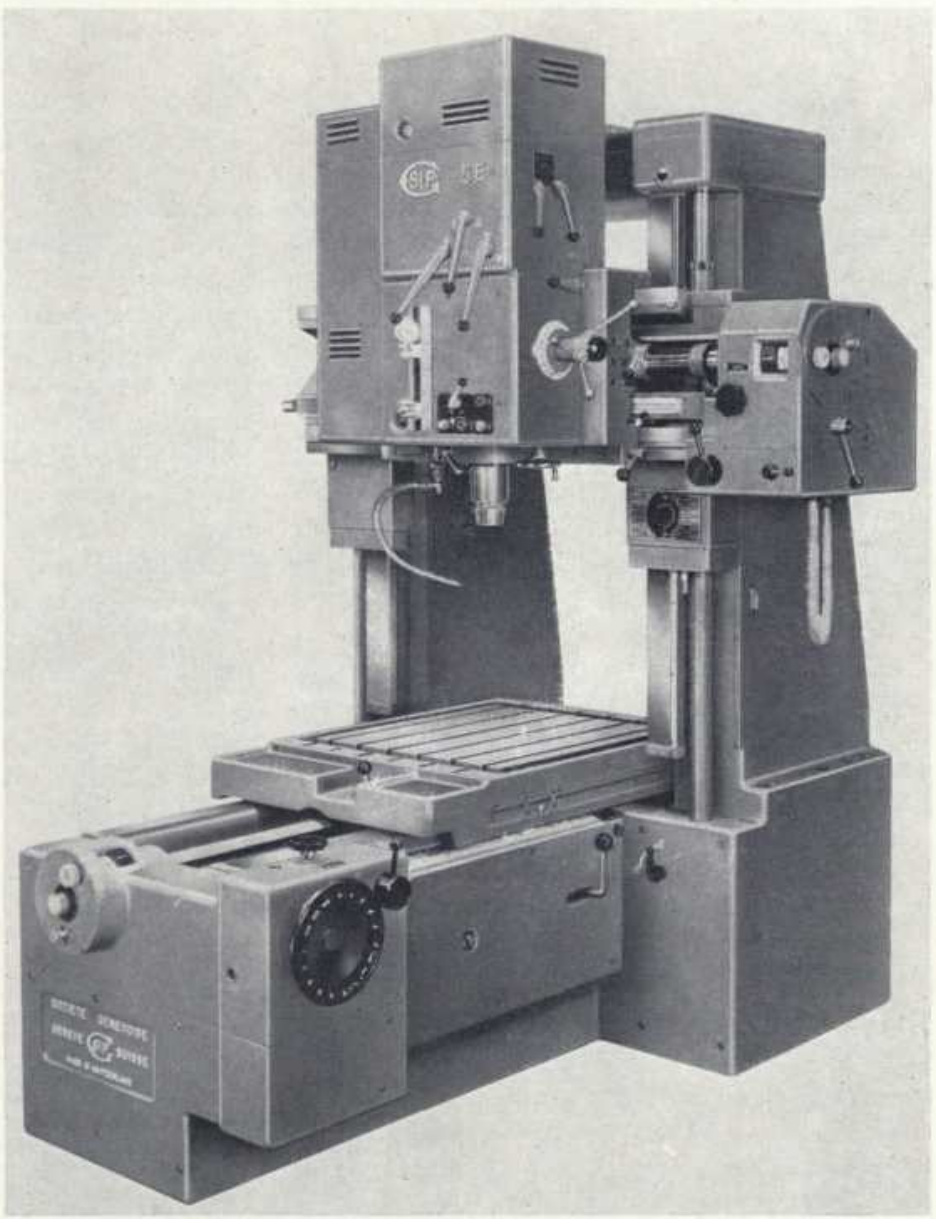


Fig. 11. Coördinatenboormachine van de Société Genevoise des Instruments de Physique.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

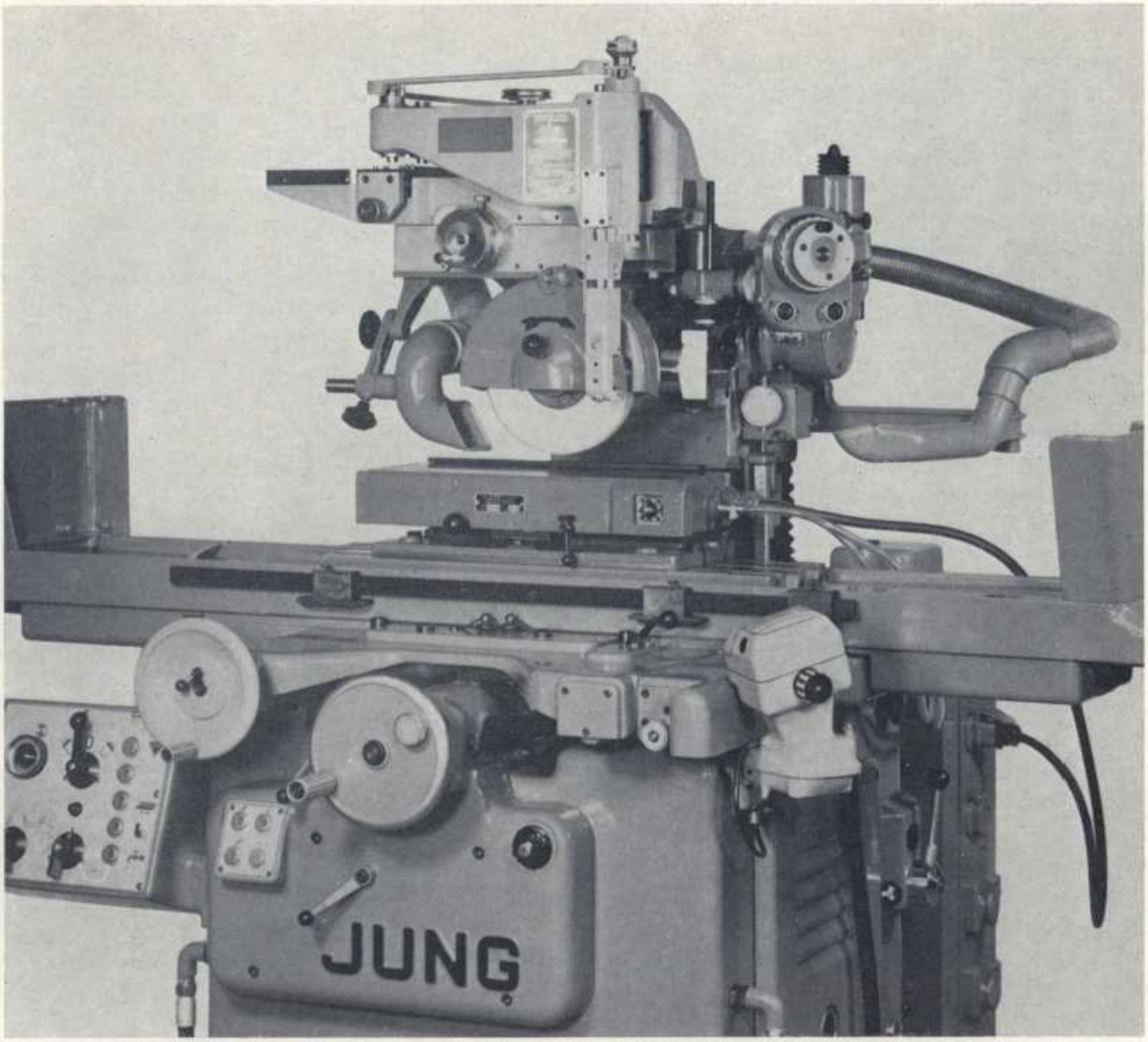


Fig. 12. Jung vlakslijpbank met Diaform profileerinrichting. De slijpschijf wordt in profiel gebracht door afdraaien met een diamant, waarvan de beweging via een pantograaf bestuurd wordt door een mal.

De vlakslijpbank was de tweede machine die heel geleidelijk een stuk handwerk verving. De magnetische spanplaat met zijn op de machine zelf nageslepen, uiterst nauwkeurige referentievlakken leende zich voor de machinale vervaardiging van profielponsen van even grote of zelfs grotere nauwkeurigheid als de met de hand gemaakte. Bij de vlakslijpmachine werd een groot aantal hulpmiddelen als sinustafel, radius- en pantograafdresapparatuur ontwikkeld, die de mogelijkheden van de vlakslijpbank nog sterk uitbreidden (*fig. 12*).

Wanneer wij dezelfde profielslijpmethode voor de vervaardiging van openingen in de snijplaat willen gebruiken, moeten deze snijplaatdelen worden gedeeld om de steen toegang te verschaffen tot het te slijpen inwendige profiel. Deze methode is vooral in de jaren vijftig sterk ontwikkeld voor de fabricage van stempels van hardmetaal. Deze gereedschappen zijn zeer kostbaar, maar kunnen voor zij zijn versleten tien- tot honderdtallen miljoenen produkten maken.

Voor stalen stempels bleef het oude gereedschapmakershandwerk van het „doorwerken" nog lang de meest efficiënte methode voor het maken van profielgaten in de verschillende platen van een stempel. Ten gevolge van het stijgende loonniveau en de toenemende schaarste aan in het doorwerken bedreven gereedschapmakers dreigt ook dit stukje van het oude handwerk door een machinale techniek, het vonkverspanen, te worden overvleugeld.

[19] J. W. Stemerdink, Toepassingen van revolvercopieerpersen, Metaalbewerking **31**, 21-28, 1965/66 (no. 2).

[20] S. Wiegersma, De ontwikkelingsgang van de vervaardigingsmethoden van snij-, buig- en trekgereedschappen, Metaalbewerking **22**, 276-281, 295-300 en 319-321, 1956/57 (no. 16, 17 en 18).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

De radioindustrie bevorderde behalve de fabricage van stempels voor metalen onderdelen ook het gebruik van in matrijzen vervaardigde kunststofprodukten op doorslaggevende wijze. In de jaren dertig waren de door L. H. Baekeland in 1909 gevonden thermohardende kunststof Bakelite en een aantal daarmee nauw verwante polycondensaten de meest gebruikte materialen. In de jaren na de oorlog nam het gebruik van thermoplastische kunststoffen, waarvan er ettelijke nieuwe ontstonden, geleidelijk toe. De klassieke perstechniek, zoals die tussen de twee wereldoorlogen voor de kunststoffen was ontwikkeld, werd grotendeels verdrongen door de spuittechniek van de thermoplasten, maar de thermohardende kunststoffen zelf wisten een stuk van hun terrein te behouden. Nieuwe thermohardende kunststoffen met interessante eigenschappen als polyesters en epoxyharsen werden aan de reeks toegevoegd, maar bovenal gelukte het de eigenschappen van thermoharders aan te passen aan de spuittechniek. Ook de transfermatrijs werd verder ontwikkeld, zodat de thermohardende kunststoffen in vormgevingsmogelijkheden niet bij de thermoplasten behoefden achter te blijven.

De spuittechniek zelf maakte in de jaren na de oorlog belangrijke vorderingen. Verbeteringen aan de spuitmachine, zoals de invoering van schroefplastificering, programmabesturing enz., leverden de grootste bijdragen, maar ook de matrijzenconstructie ontwikkelde zich verder. De invoering van „automatische" drie- en tweeplaatsmatrijzen, die produkten en afval gescheiden uitwerpen, en van „hot-runner"-matrijzen, die in het geheel geen afval produceren, zijn de belangrijkste recente ontwikkelingen.

De vervaardiging van een matrijsholte door middel van een verspanende bewerking geeft bijna steeds grote toegankelijkheidsproblemen. De moeilijkheden treden niet alleen, en misschien zelfs niet in de eerste plaats, op bij de verspaning zelf, maar vooral bij het polijsten dat na de verspaning nodig is om de bewerkingsnerven te verwijderen. Het oog accepteert gemakkelijk dat vooruitstekende delen van een produkt beter zijn afgewerkt dan minder toegankelijke, en daardoor minder zichtbare, delen. Doordat de gereedschapmaker de tegenvorm van een produkt moet afwerken, bereikt hij van nature het omgekeerde: juist de vooruitstekende delen van het produkt liggen diep in de matrijs en zijn daardoor moeilijk of in het geheel niet af te werken. Ten bate van de matrijzenfabricage zijn dan ook een aantal interessante „omkeermethodes" tot ontwikkeling gekomen, waarmee van een positief model van het produkt de bijbehorende matrijsholte kan worden afgeleid.

Afgieten, de meest voor de hand liggende omkeermethode, is in de gereedschapmakerij verrassend weinig gebruikt. Gieten is, tenzij het hele proces zich op kamertemperatuur kan afspelen, nu eenmaal te weinig nauwkeurig voor de doeleinden van de matrijzenmakerij. Gegoten metalen zijn bovendien in de meeste gevallen te onzuiver en te inhomogeen om als constructiemateriaal voor matrijzen te dienen. Persvormen voor glas vormen hierop een uitzondering, maar zelfs in dit geval wordt van een speciale giettechniek gebruik gemaakt die een hoge zuiverheid waarborgt van de laag metaal die aan de holte grenst. Het afgieten met behulp van krimpvrije gietmassa's op basis van keramiek of kunststof is een bekende hulptechniek voor het maken van kopieermodellen. Doordat deze materialen ongeschikt zijn om er de matrijs zelf van te maken, lossen zij het centrale probleem van het afwerken van de vorm „in het negatieve" niet op.

Het hobben is een omkeertechniek die bijzonder geschikt is voor de vervaardiging van de meervoudige holten van pers- en spuitmatrijzen. In de jaren dertig kon deze techniek alleen worden uitgevoerd met zuiver ijzer. Het was met de toenmalige middelen alleen in dit ductiele, weinig verstevigende materiaal mogelijk een gehard stalen stempel koud tot de gewenste diepte in te drukken. Het nadeel dat de aldus gevormde holte, na carboneren, in water moest worden gehard, werd op de koop toe genomen.

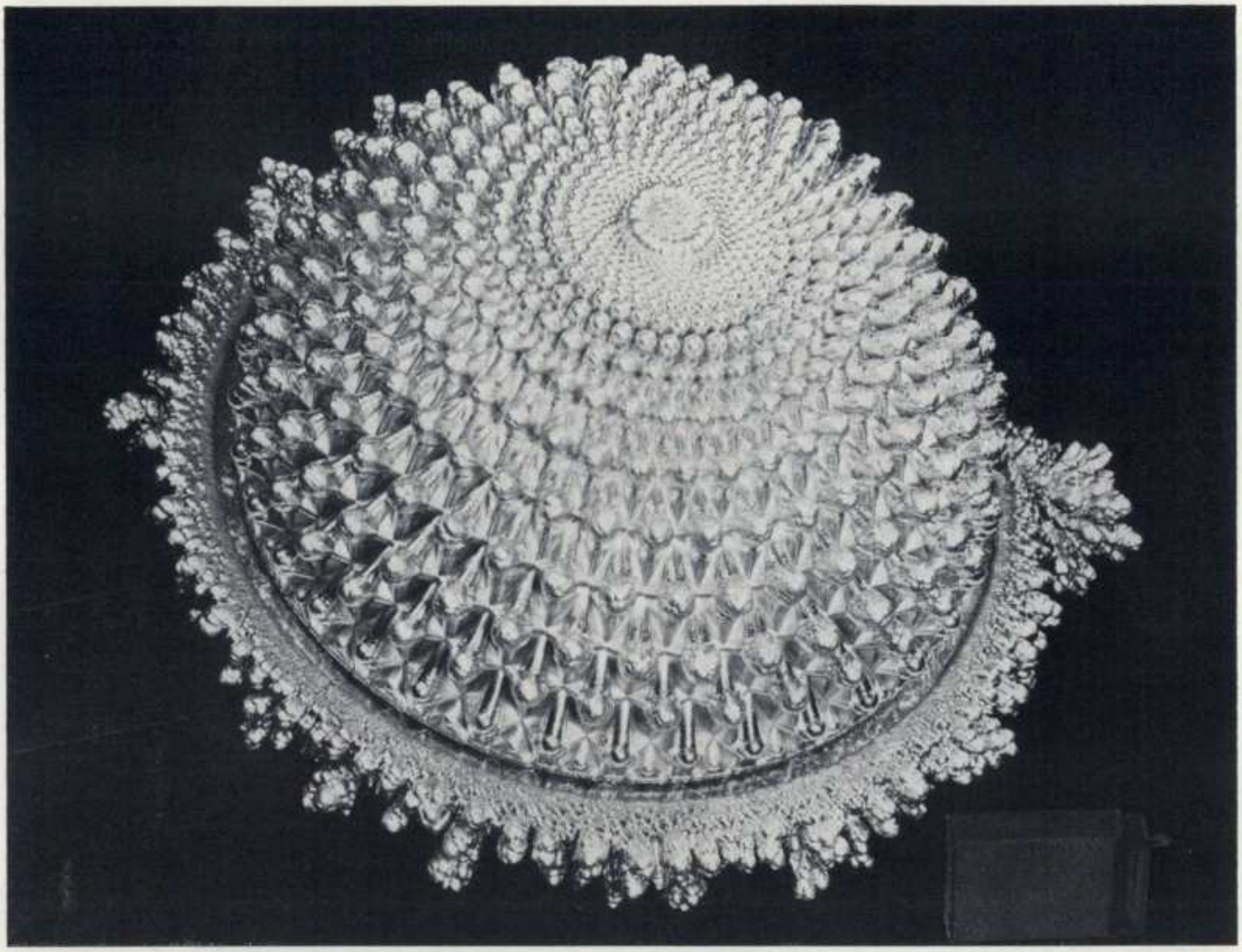
Na de oorlog kwam uit Amerika het nieuws dat daar een nieuwe staalsoort was ontwikkeld die kon worden gehobd en daarna aan de lucht gehard. Een systematisch onderzoek van de invloed van legeringselementen op de versteviging enerzijds en op de „hardenability" (kritische afkoelsnelheid) anderzijds had de sterke ferrietvormers chroom en molybdeen als de beste legeringselementen aangewezen en duidelijk gemaakt dat het gehalte aan austenietvormers als koolstof, stikstof en mangaan zo laag mogelijk gehouden moet worden.

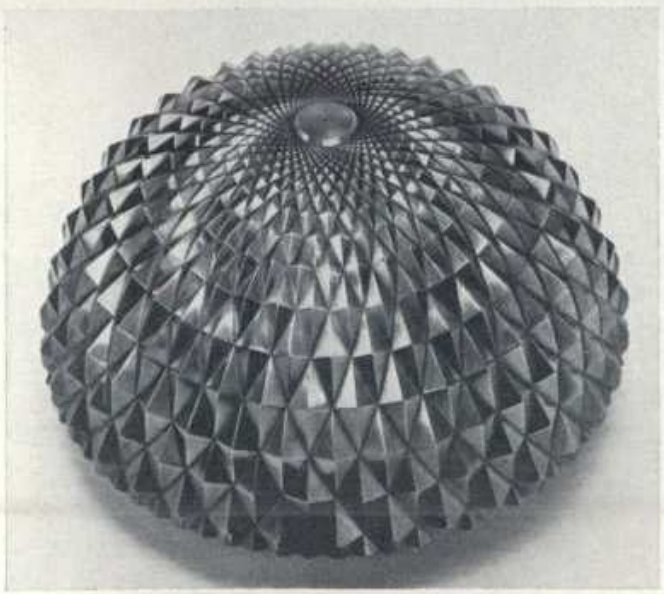
Inmiddels werden in Duitsland nieuwe, zeer stabiele hobpersen op de markt gebracht, die het gebruik van hobstempels van grotere hardheid mogelijk maakten. Deze ontwikkeling had tegen het einde van de jaren vijftig de hobtechniek tot volle ontplooiing gebracht. In de jaren zestig zou een nieuwe wending in de technologie van het vonkverspanen het hobben goeddeels gaan verdringen.

Een zeer interessante omkeertechniek uit de jaren na de oorlog is de galvanoplastiek. Door een dikke laag metaal, meestal hard nikkel, niet hechtend op een metalen vorm neer te slaan, wordt van dit model een schaalvormige tegenvorm gemaakt die als holte in een matrijs kan worden ingebouwd. Het gebruik van de galvanoplastiek voor de vervaardiging van grammofoonplaatmatrijzen en oppervlakruwheidsmonsters wijst op de grote kracht van deze methode: door het uiterst zuivere en homogene, galvanisch neergeslagen metaal worden

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023





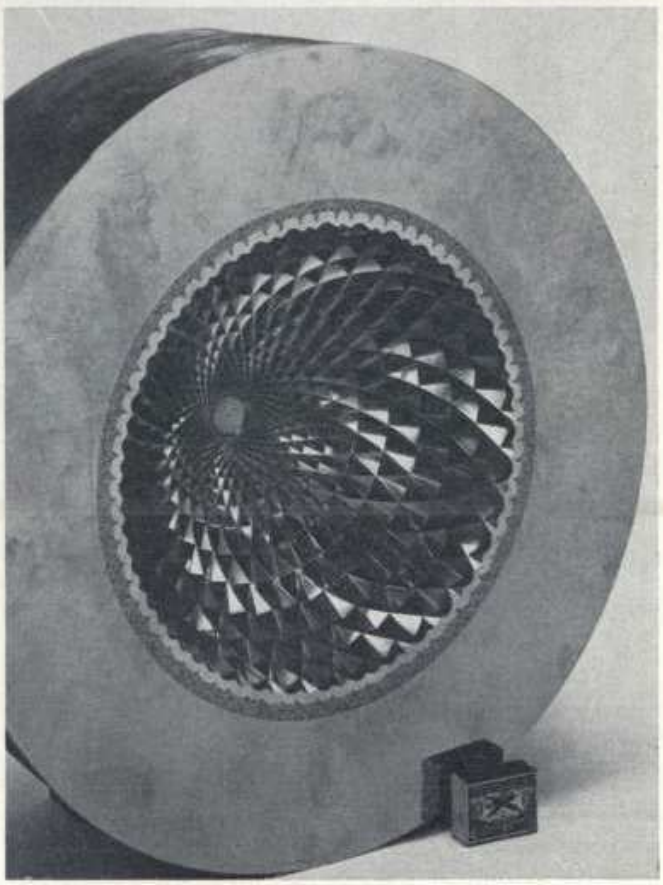


Fig. 13. Mal (boven), galvanisch daarop neergeslagen metaalschil (geheel boven) en matrijs (rechts) waarin de schil als holte fungeert.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de fijnste details van het model getrouw overgenomen (*fig. 13*). Op dit punt kan het vonkverspanen, dat in de laatste jaren alle andere omkeertechnieken uit de matrijzenfabricage lijkt te gaan verdringen, de galvanoplastiek nooit vervangen.

De grootste naoorlogse ontwikkeling in de gereedschapmakerij is het vonkverspanen. In zijn meest gebruikelijke verschijningsvorm past het vonkverspanen de dikte van de snijplaat waarin de opening moest worden aangebracht. Zelfs de extreem ongunstige verhouding tussen de geërodeerde volumes van werkstuk en elektrode, zoals bij de vonkerosie van hardmetaal optreedt, kon te boven worden gekomen door het gebruik van een voldoend lange elektrode. De vonkerosie heeft al in een vroeg stadium toepassing gevonden bij de vervaardiging van hardmetaalstempels, en heeft sterk bij-

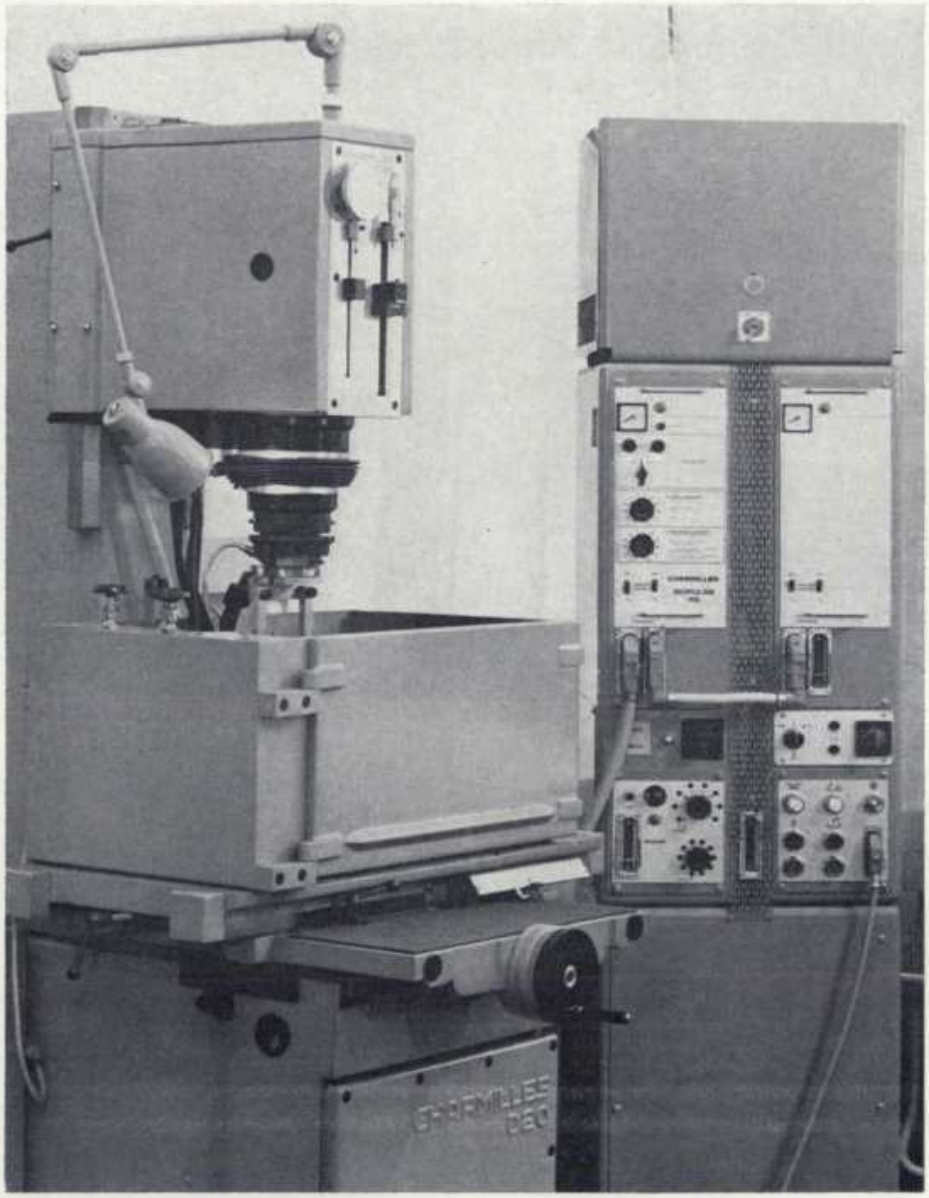


Fig. 14. Vonkerosiemachine Charmilles Eleroda met Isopulse generator, in gebruik in Philips' Centrum voor Fabricagetechnieken.

geheel in de hier besproken rij van omkeertechnieken die de gereedschapmakerij ter beschikking staat.

De eerste omkeermethode waarvoor het vonkverspanen een alternatief werd, was het „doorwerken". Alleen bij deze bewerking was de grote elektrodeslijtage — die in de beginperiode onvermijdelijk was — overkomelijk doordat het uitwendige mantelvlak van de gebruikte elektrode vele malen langer kon worden gemaakt dan gedragen aan de verbreiding van het gebruik van deze gereedschappen.

Waar het blinde holten betreft, was het vonkverspanen in de beginperiode — dat is het begin van de jaren vijftig — alleen goed genoeg voor het maken van de weinig nauwkeurige, weinig gedetailleerde en ondiepe holten van smeedmatrijzen.

Dankzij het bedwingen in het midden van de jaren

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zestig van de elektrodeslijtage, die werd teruggebracht tot ca. 0,1 % van het geërodeerde werkstukvolume, veranderde dit beeld geheel. De toepassing bij de vervaardiging van diepe, nauwkeurige holten, zoals in kunststofmatrijzen voorkomen, ging ineens tot de mogelijkheden behoren. Het toepassingsgebied van vonkverspanen verdubbelde binnen enkele jaren door de verdringing van oude omkeertechnieken als het hobben.

bron. De condensator-ontladingsgenerator produceert vonken van zeer groot vermogen en zeer korte duur, de vonken van een moderne generator hebben bij dezelfde energie een veel kleiner vermogen en een omgekeerd evenredig langere duur. Het laatste type vonk heeft het mogelijk gemaakt onderling verschillende materialen selectief te eroderen, zodanig dat de erosie van het werkstuk bij de juiste materiaalkeuze het dui-

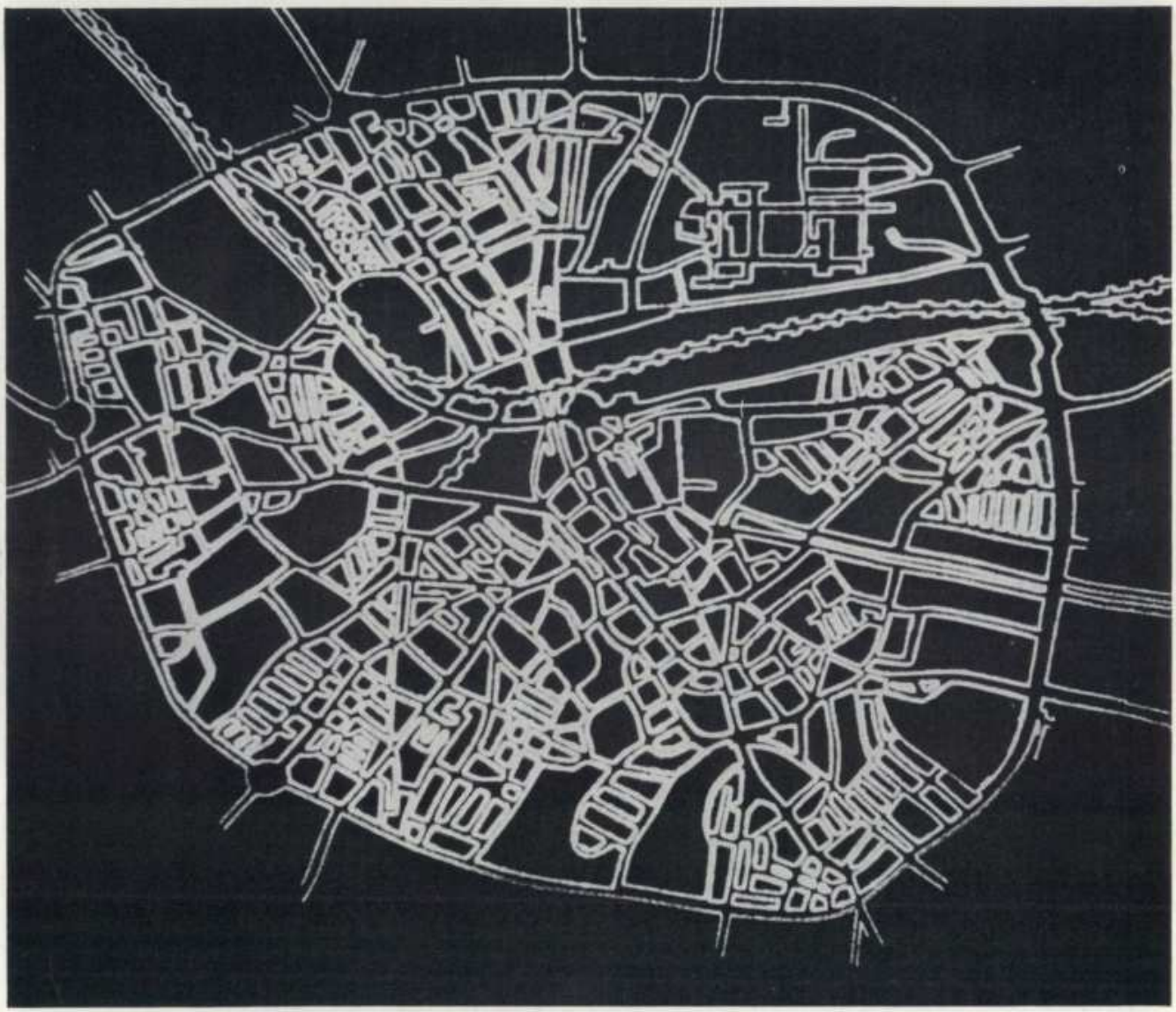


Fig. 15. Plattegrond van het binnen de zg. Rondweg gelegen deel van de stad Eindhoven, een bravourstukje van microvonkverspaning. De plattegrond is uitgevonkt in een op een glasplaatje gedampte metaallaag en meet in werkelijkheid 2×2½ mm. Er werd gebruik gemaakt van een zeer speciale methode voor regeling van de grootte der vonkspleet en van een foto-elektrisch lijndetectiesysteem voor het sterk verkleind overbrengen van de lijnen van de oorspronkelijke tekening op het werkstuk [21].

De revolutionaire verandering in de technologie van het vonkverspanen was te danken aan een nieuwe, met vermogenstransistors uitgeruste vonkgenerator. De oude generator produceerde de bij het vonkverspanen vereiste afzonderlijke vonken door het ontladen van een condensatorbatterij, de nieuwe generator opent en sluit eenvoudig de verbinding met een gelijkstroom-

zendvoudige kan bedragen van die van de elektrode (*fig. 14*).

Hoewel de omkering van een positieve vorm, die daarbij rechtstreeks in hard materiaal kan worden overgebracht, veruit de meest verbreide toepassing van

[21] C. van Osenbruggen, Microvonkverspaning, Philips techn. T. **30**, 200-213, 1969.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het vonkverspanen is, zijn enige andere toepassingen de moeite van het bespreken waard.

Bij het zg. draadsnijden bestaat de elektrode uit een gespannen draad waarmee langs erosieve weg contouren worden uitgesneden, ongeveer zoals dat met een figuurzaag wordt gedaan. Door het ontbreken van verspaningskrachten wijkt de draad niet uit en kan een hoge nauwkeurigheid worden bereikt. De gespannen draad loopt over rollen, zodat het aan erosie onderhevige deel ervan doorlopend wordt vernieuwd. Het besturen van deze contourbewerking kan op zinvolle wijze met behulp van numerieke besturing worden verricht.

Vonkverspaning kan geschikt gemaakt worden voor het boren van zeer kleine gaten (tot 5 μm diameter). Voor dergelijke gatafmetingen valt aan conventionele verspaning niet te denken, omdat de haardunne gereedschappen die ervoor nodig zouden zijn geen enkele stijfheid zouden bezitten. Het ontbreken van verspaningskrachten maakt dat vonkerosie hiervoor nog wel kan worden toegepast. De bewerkingsmethode alsmede de sterk gespecialiseerde machine en generator die men ervoor nodig heeft, zijn in het Natuurkundig Laboratorium ontwikkeld [21].

Met behulp van deze micro-erosietechniek is het mogelijk een zelfde soort contourbewerking als het draadsnijden, nu echter met een eindige draadelektrode, uit te voeren. Deze techniek biedt, weer in combinatie met een geschikte besturingsmethode, de mogelijkheid fijne, ingewikkelde contouren, zoals die in bepaalde in de miniatuur-elektronica gebruikte maskers voorkomen, uit te vonken. *Fig. 15* geeft een voorbeeld van wat met deze techniek valt te bereiken.

Numerieke besturing

Velen hebben bij de komst van de computer een nieuwe „industriële revolutie" voorspeld. De voorspellingen omtrent een revolutie in de werkplaats als gevolg van de invoering van numerieke besturing liggen in het verlengde hiervan. Stoom en elektriciteit hebben in de eerste industriële revolutie het aandrijfvermogen verschaft dat noopte tot het vinden van snijmaterialen waarmee dit vermogen nuttig kon worden gebruikt. De verwachting dat opnieuw externe veranderingen, in dit geval de ontwikkeling van de informatietechnologie, gevolgen zullen hebben voor de werkplaats, ligt voor de hand. Op het informatie-intensieve karakter van het werk op het grensvlak van constructie en produktie is reeds gewezen.

De ontwikkeling van de numerieke besturing is omstreeks 1950 in de Verenigde Staten van Amerika begonnen. Het pionierswerk dat aan het Massachusetts Institute of Technology met financiële steun van de overheid werd verricht betrof al direct de meest complexe vorm van numerieke besturing, nl. het contourfrezen. Het motief voor de overheidssteun voor dit project kwam voort uit de erkenning dat het maken van de talloze mallen en andere hulpgereedschappen die nodig zijn bij de fabricage van ingewikkelde vliegtuigonderdelen, bijzonder tijdrovend is en daarmee bepalend voor de aanlooptijd van een oorlogsproduktie van vliegtuigen. Het eerste ontwikkelingsproject mikte daarmee al direct op de technisch meest zinvolle toepassing van de numerieke besturing. Het betrof hier immers de primaire vervaardiging, direct vanuit het ontwerp, van ingewikkelde werkstukken. Deze werkstukken waren bovendien, doordat zij contouren bevatten die niet voor eenvoudige kinematische generatie vatbaar waren, extreem informatie-intensief.

Merkwaardig genoeg was de aanpak van de Amerikaanse gereedschapswerktuigen-industrie in de daarop volgende periode vrijwel tegengesteld aan dit eerste grote project op het gebied van de numerieke besturing. Coördinatentafels met een zeer eenvoudig positioneringssysteem schoten als het ware uit de grond. Deze eenvoudige coördinatentafels hadden het voordeel dat zij voor de gewone industrie betaalbaar waren, maar het economische voordeel dat er mee viel te behalen was in de meeste gevallen gering. De toepassing van de numerieke besturing wordt, zoals in *fig. 16* schematisch is weergegeven, aantrekkelijker naarmate de hoeveelheid geometrische informatie van het ontwerp, b.v. gemeten naar het aantal door verspaning te realiseren maten op de tekening, groter wordt [22].

De conceptie omstreeks 1956 van het zg. bewerkingscentrum, waarvan de MilwaukeeMatic van Kearney & Trecker een van de vroegste en meest succesvolle

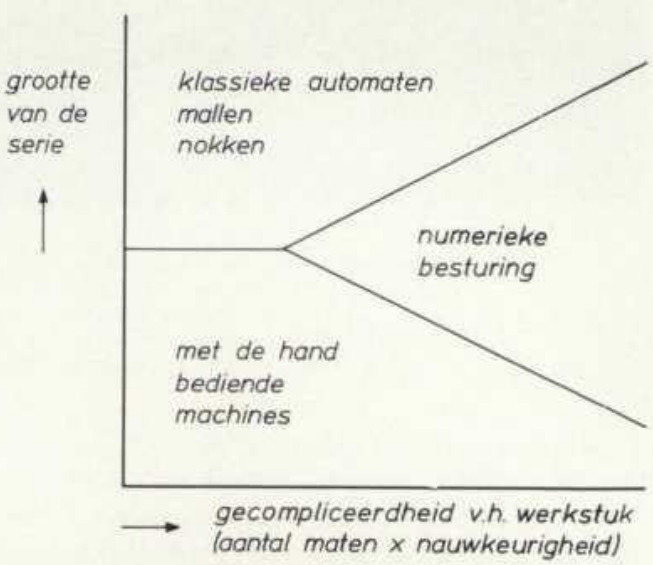


Fig. 16. De keus van het type machine hangt af van de grootte van de te maken serie en van de gecompliceerdheid van het werkstuk. Bij zeer gecompliceerde werkstukken is numerieke besturing reeds lonend bij relatief kleine series.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

vertegenwoordigers is, betekende een belangrijke stap vooruit. Het bewerkingscentrum maakt van de mogelijkheden van de numerieke besturing gebruik door een groot aantal bewerkingen in één of meer opspanningen op één machine te verrichten. Deze machine, meestal een horizontale kotterbank die frezen, boren, kotteren, tappen en vlakdraaien kan en daarmee de meest universele machine van de werkplaats is, verricht alle bewerkingen aan het doorgaans ingewikkelde type werkstukken dat in de machinebouw als freem of huis dient. De fabricage van deze werkstukken werd vanwege hun informatie-intensieve karakter in het verleden in vele eenvoudige deelbewerkingen gesplitst, en dientengevolge waren deze onderdelen bepalend voor de levertijd van het produkt waarin zij voorkwamen. In *fig. 17* is een bewerkingscentrum afgebeeld van Scharmann, uitgerust met numerieke besturing Philips S-NOR.

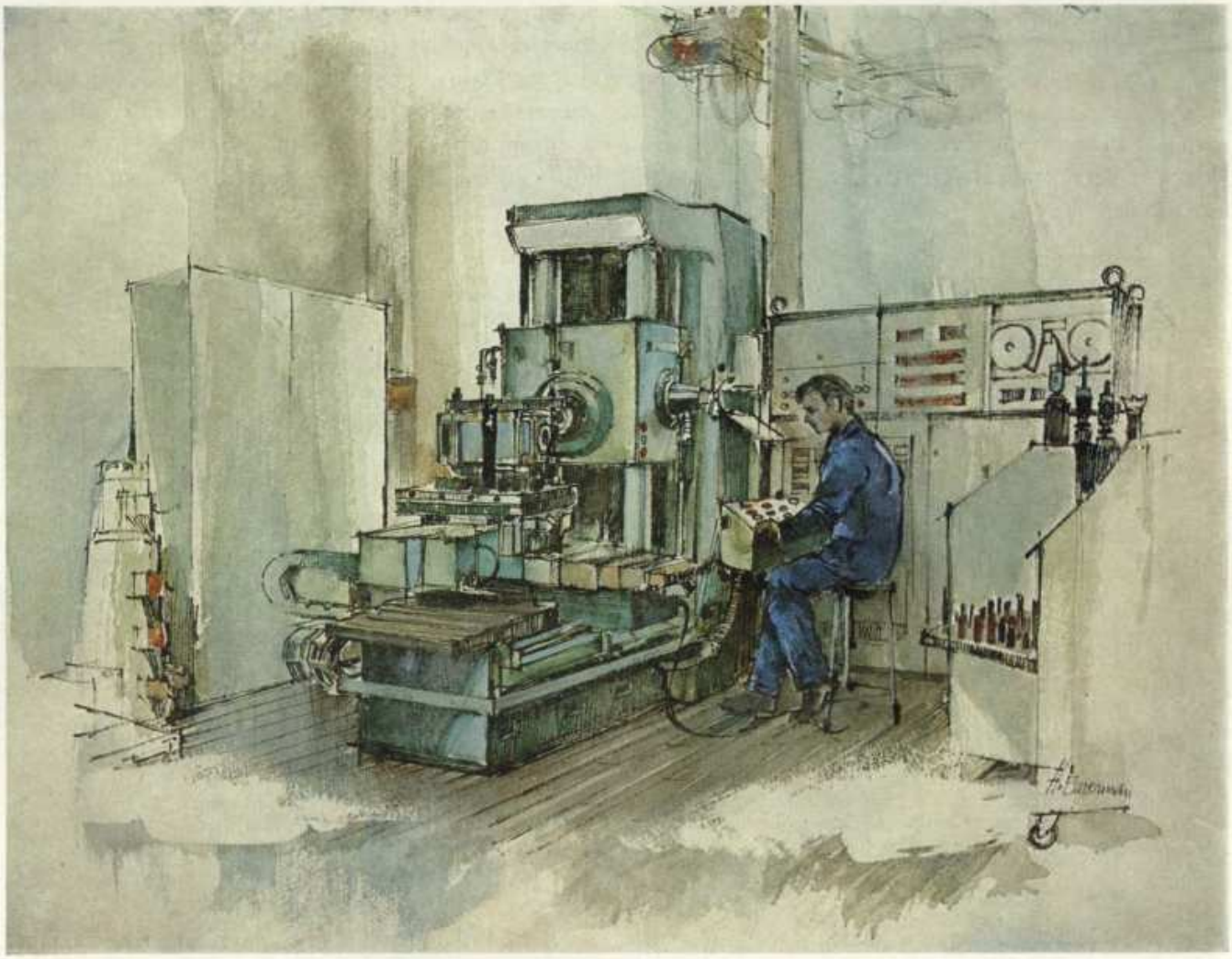


Fig. 17. Bewerkingscentrum van Scharmann, uitgerust met numerieke besturing Philips S-NOR. (Tekening H. Euverman.)

Op het eerste gezicht lijkt het weinig aantrekkelijk bij het draaien numerieke besturing toe te passen. De tekeningen van draaiwerk bevatten gemiddeld veel minder maten dan die van op „machining centers" bewerkte freems en huizen. Het draaien van werkstukken moet echter in veel gevallen in een groot aantal sneden gebeuren. Dit komt neer op de vervaardiging van een groot aantal werkstukken waarvan elk volgende uit het voorgaande wordt gemaakt. De complete reeks werkstukken zou, in tekening gebracht, wèl zeer veel informatie blijken te bevatten.

Slechts de maten van het laatste werkstuk zijn functioneel en daarom door de constructeur bepaald. Alle maten van de „tussen-werkstukken" worden gekozen op grond van fabricage-technische overwegingen. Zij behoren dan ook bij de werkvoorbereiding, bij het optimaliseren van de werkmethode, tot stand te komen. Numeriek bestuurd draaien kan pas tot volle ontplooiing komen wanneer het optimaliseren van de werkmethode met behulp van een computerprogramma zo wordt uitgevoerd dat dit rechtstreeks voor de machine

[22] H. Huizing, Over de toepassing van numerieke besturing, Metaalbewerking **31**, 97-102, 1965/66 (no. 5).

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

geschikte besturingsinformatie oplevert. Het door het Centrum voor Metaalbewerking T.N.O. ontwikkelde „Miturn"-programma vormt hiertoe een belangrijke bijdrage.

Men kan de numerieke besturing met het meeste recht een „doorbraak" noemen waar het de echte contourbesturing betreft. Alle tot nu toe bestaande gereedschapswerktuigen waren slechts in staat eenvoudige vormen kinematisch te genereren. Cilinders en prisma's waren de meest gebruikelijke van deze vormen, schroefdraden en evolvente tandwielen de meest ingewikkelde. Het kopieerfrezen is slechts schijnbaar een uitzondering op deze regel, en wel omdat deze bewerking een reeds bestaand model nodig heeft. Het maken van dit oermodel is het kernprobleem, en niet het maken van kopieën daarvan!

De vervaardiging van nokken is het eenvoudigste voorbeeld van contourfrezen volgens deze principes. We hebben hier slechts met twee dimensies te maken, waarvan de relatie op kinematische gronden ondubbelzinnig mathematisch is vastgelegd. De hogeregraadspolynomen waarin deze relatie kan worden uitgedrukt, zijn zeer geschikt voor het genereren van de ontwerpinformatie op een computer. De contour is vanuit deze informatie op een freesbank met eenvoudige éénassige besturing te maken. Een mini-computer kan zowel de informatie genereren als de machine besturen, een ideale integratie van ontwerp en produktie (*fig. 18*).

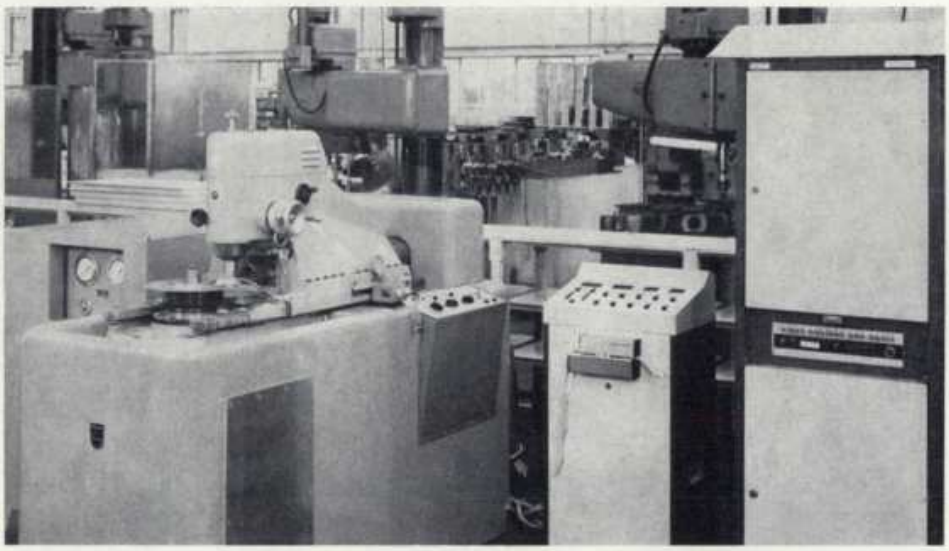


Fig. 18. Nokkenfreesbank, rechtstreeks bestuurd door een computer Philips P 9201. Machine en besturing zijn in samenwerking ontworpen door het Natuurkundig Laboratorium en de Machinefabrieken van Philips.

De hoeveelheid informatie, nodig voor de exacte definitie van een willekeurige contour, is theoretisch oneindig groot. In de praktijk is die hoeveelheid informatie uiteraard niet oneindig, maar nog altijd zeer groot, en wel des te groter naarmate de contour door die informatie nauwkeuriger moet worden gedefinieerd. De problemen rond de vervaardiging van een dergelijke contour zijn tweeledig: ten eerste moet er op het constructiebureau een grote hoeveelheid vorminformatie worden geproduceerd, en ten tweede moet deze vorminformatie — b.v. in het tempo van een freesbewerking! — bij het sturen van de machine worden verwerkt.

De moderne, digitale elektrische hulpmiddelen voor informatieverwerking leveren voor beide kanten van het probleem de oplossing: de computer kan in aanvaardbare tijd voldoende vorminformatie genereren om de vorm nauwkeurig te beschrijven en het numeriek bestuurde gereedschapswerktuig kan, met deze informatie gestuurd, het gewenste werkstuk in een tot nu toe ongekend hoog tempo maken.

Vormen die op grond van esthetische overwegingen worden ontworpen en die niet met een uit hun functie afgeleide mathematische definitie kunnen worden omschreven, kunnen in een „conversatie" tussen een „mathematisch" geprogrammeerde computer en een „esthetisch" evaluerende vormgever tot stand worden gebracht. De computer kan er voor zorgen dat hierbij aan in het programma ingevoerde randvoorwaarden doorlopend wordt voldaan.

De ontwerpinformatie die op deze wijze tot stand komt kan zo groot worden gemaakt als voor de meest nauwkeurige definitie van de vorm nodig is. Deze informatie staat bovendien in numerieke vorm ter beschikking en is daardoor ideaal geschikt als input voor een numeriek besturingsorgaan van een machine.

Geïntegreerde systemen voor het ontwerpen met behulp van de computer, gevolgd door het realiseren van

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

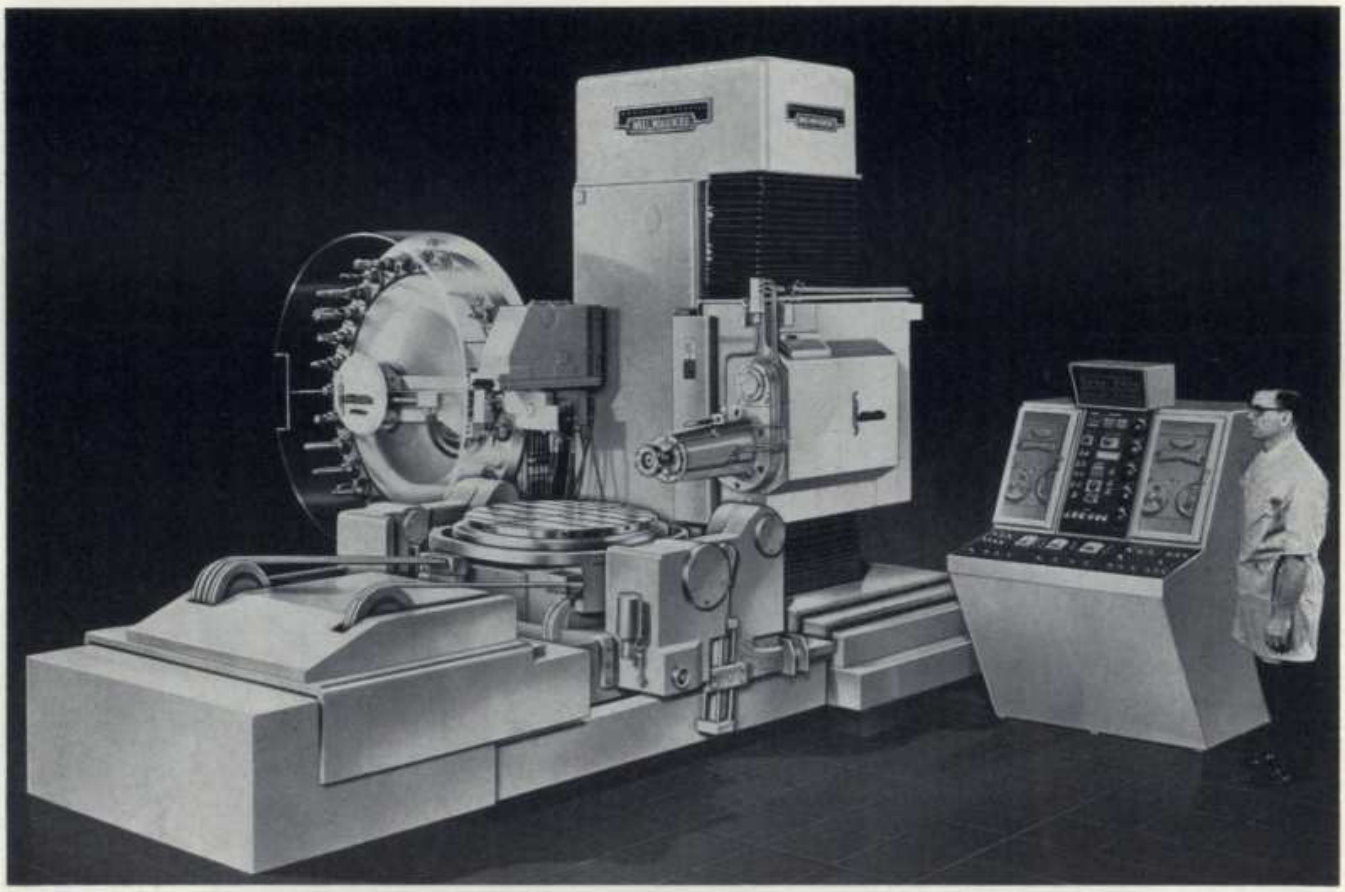


Fig. 19. Vijfassige numeriek bestuurde freesbank (Kearney en Trecker, MilwaukeeMatic model III-5 axis). Deze machine zal in 1971 worden opgesteld in de nieuwe werkplaats van Philips' Machinefabrieken voor de vervaardiging van persglasmatrijzen voor televisiebuizen.

de ontwerpen met behulp van numeriek bestuurde freesmachines, worden thans in de autoindustrie voor de fabricage van matrijzen op zeer grote schaal toegepast. De exacte vormdefinitie en het exact aanhouden van bepaalde randvoorwaarden is in de massafabricage van bijzonder groot belang. Willekeurig gevormde kofferdeksels en spatborden kunnen nu verwisselbaar worden gefabriceerd en daarbij even betrouwbaar op elkaar passen als zuigers en cilinderblokken in de tijd van Henry Ford's „Model T".

De numeriek bestuurde drie-, vier- of vijfdimensionele freesbank is in de gereedschapmakerij en in de vliegtuigindustrie een waardige, en zelfs veel succesvollere, opvolger van de kopieerfreesbank aan het worden (*fig. 19*). Deze laatste droeg, hoe nuttig zijn diensten ook geweest mogen zijn, niets bij tot het maken van het oermodel, laat staan tot het genereren van de kolossale ontwerpinformatie die, wanneer dat oermodel een willekeuriee ruimtelijke vorm heeft, voor de beschrijving ervan nodig is.

Bij het contourfrezen nemen de computer en de numerieke besturing werk op zich dat in het verleden slechts in uiterste noodzaak door mensenhanden en -hoofden werd verricht. De constructeur in de vliegtuig- en scheepsbouw rekende bladzijdenlange coördinatentabellen uit en de metaalvakman had een al even moeizaam karwei aan het verwerken daarvan bij het uitzetten van spantprofielen, het aftekenen van platen of het aancenteren, boren en vijlen van mallen.

De minder geavanceerde vormen van numerieke besturing nemen normalere taken van de vakman over. De grote vraag is of de numerieke besturing de vakman van bedienaar van machines tot bewaker van machines zal maken, zoals dat de ongeschoolde werker vóór hem overkwam als gevolg van de klassieke mechanisatie.

De numerieke besturing speelt zich, precies als het vakmanschap, af op het grensvlak tussen constructie en produktie en is potentieel in staat daar veel taken van de vakman over te nemen. Niemand kan op dit moment echter voorspellen hoe ver de evolutie zal doorzetten en hoe snel hij zal verlopen. Complexe machines en vernuftige technieken hebben nog nooit het werk van mensen overbodig gemaakt, en dit zal in de werkplaats, hoeveel daar ook zal veranderen, net zo min het geval zijn als bij het vervangen van de handbewerkingen uit het oude gereedschapmakersvak door machinale bewerkingen.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Het in 1968 in gebruik genomen universele laboratoriumgebouw WY van het complex Waalre van Philips' Natuurkundig Laboratorium. Rechts op het dak de antenne van de experimentele kleurentelevisiezender. In het nu volgende artikel vindt men een beschrijving van de gebouwen alsmede van de opzet en de groei van het complex.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het complex Waalre van Philips' Natuurkundig Laboratorium

L. A. de Haas en S. S. Wadman

Bij de officiële ingebruikneming in 1963 van het complex Waalre van het Natuurkundig Laboratorium bestond dit in hoofdzaak uit de laagbouw WA en de hoogbouw WB met de bijbehorende werkplaatsen [1]. Sedertdien zijn er verscheidene nieuwe gebouwen verrezen en in gebruik genomen, waaronder het hoogbouwlaboratorium WY.

Het wetenschappelijk onderzoek in een industrieel researchlaboratorium vergt heden ten dage een grote flexibiliteit, niet alleen in de totale opzet van een complex als het onderhavige, maar ook in de afzonderlijke gebouwen en de technische voorzieningen. Het destijds voor het complex Waalre ontwikkelde basisplan heeft in dit opzicht aan de steeds wisselende eisen goed kunnen voldoen.

Natuurlijk zijn hier en daar de accenten wat verschoven. Zo is b.v. de gedachte van een verdeling van het complex in afzonderlijke sectoren gaandeweg wat meer op de achtergrond geraakt. Het onderlinge contact tussen de onderzoekers die in de onderscheiden vakgebieden werken is in de praktijk nog veel belangrijker gebleken dan in de aanvang verondersteld werd, en vanzelfsprekend is ook dáár niet aan de sectorgedachte vastgehouden waar het ging om zeer kostbare en speciale technische voorzieningen en faciliteiten die in één sector niet rendabel gemaakt zouden kunnen worden. De gedachte dat een sector zou moeten bestaan uit een universeel laboratorium, een aantal bijzondere laboratoria en een werkplaats, is echter juist gebleken en blijft — zij het in aangepaste vorm — uitgangspunt voor het verder uitbouwen van het complex. Wel is de behoefte aan bijzondere laboratoriumruimte de laatste jaren veel sterker gestegen dan die aan universeel bruikbare laboratoriumruimte; daardoor is ook het per medewerker noodzakelijke vloeroppervlak groter geworden.

Een ander uitgangspunt van het basisplan was de eis dat de laboratoria zowel van buitenaf als door elkaar zo weinig mogelijk gestoord zouden moeten worden. Daarom was in het basisplan een afzonderlijke strook grond gereserveerd voor kleine gebouwen voor onderzoekingen die brand- of explosiegevaar opleveren, alsmede voor het ketelhuis, het vaten- en zuurpark, de telefooncentrale, de water- en afvalwatervoorziening en de onderhoudswerkplaats; deze strook zou door parkeerterreinen gescheiden zijn van de voor de laboratoria bestemde ruimte. Dit uitgangspunt is bij de uitbouw van het complex onverkort gehandhaafd en zal in de toekomst zelfs een nog sterker accent krijgen.

Dat ook consequent is vastgehouden aan het derde uitgangspunt van het basisplan — voor velen in en buiten het laboratorium misschien wel het belangrijkste —, namelijk de wens dat het complex een open karakter zou verkrijgen en het landschappelijk schoon van het gebied tussen Eindhoven en Waalre zo weinig mogelijk zou aantasten, moge blijken uit de foto's die de lezer in dit artikel en op de bladzijde hiernaast aantreft. De oorspronkelijke plannen voor de groenvoorziening [2] zijn, waar nodig, aangepast, doch in hoofdzaak onveranderd aangehouden. Het kan niet genoeg worden beklemtoond dat een harmonisch samengaan van groenvoorziening en bebouwing op een complex van deze omvang een eerste vereiste is voor het scheppen van een goed werk- en leefklimaat.

Alvorens nader in te gaan op de thans in gebruik of in aanbouw zijnde gebouwen, een enkel woord over een belangrijk onderdeel van het basisplan dat nog niet is gerealiseerd, het hoofdgebouw van het complex. In verband met de meer urgente behoefte aan laboratoriumruimte zal dit gebouw eerst in een later stadium worden gebouwd. Verder hebben de plannen in zoverre een modificatie ondergaan, dat het hoofdgebouw niet het enige centraal op het complex gelegen gebouw zal worden. Toen bleek dat de Octrooiafdeling met ernstige ruimteproblemen te kampen had werd, mede gezien de belangrijke rol die deze afdeling speelt in het dagelijks gebeuren van het Laboratorium, na onderling overleg besloten ook deze afdeling — met behoud van eigen zelfstandigheid — over te brengen naar Waalre. De ruimte waarin de Octrooiafdeling zal worden gehuisvest is reeds in aanbouw en zal te zijner tijd met het hoofdgebouw van het laboratorium een organisch geheel vormen.

Ir. L. A. de Haas is als hoofdarchitect verbonden aan het Architecten- en Ingenieursbureau van Philips' Hoofdgroep Technische Bedrijven; ir. S. S. Wadman heeft de leiding van de Algemene Technische Dienst van het Natuurkundig Laboratorium.

[1] Zie M. J. Jansen Gration, De planning van het nieuwe gebouwencomplex voor Philips' Natuurkundig Laboratorium, Philips techn. T. **25**, 206-216, 1963. Voor een verklaring van de letteraanduidingen van de gebouwen, zie de maquettefoto's op blz. 161.

[2] Ontwerp ir. J. Vallen, landschapsarchitect te Roermond.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

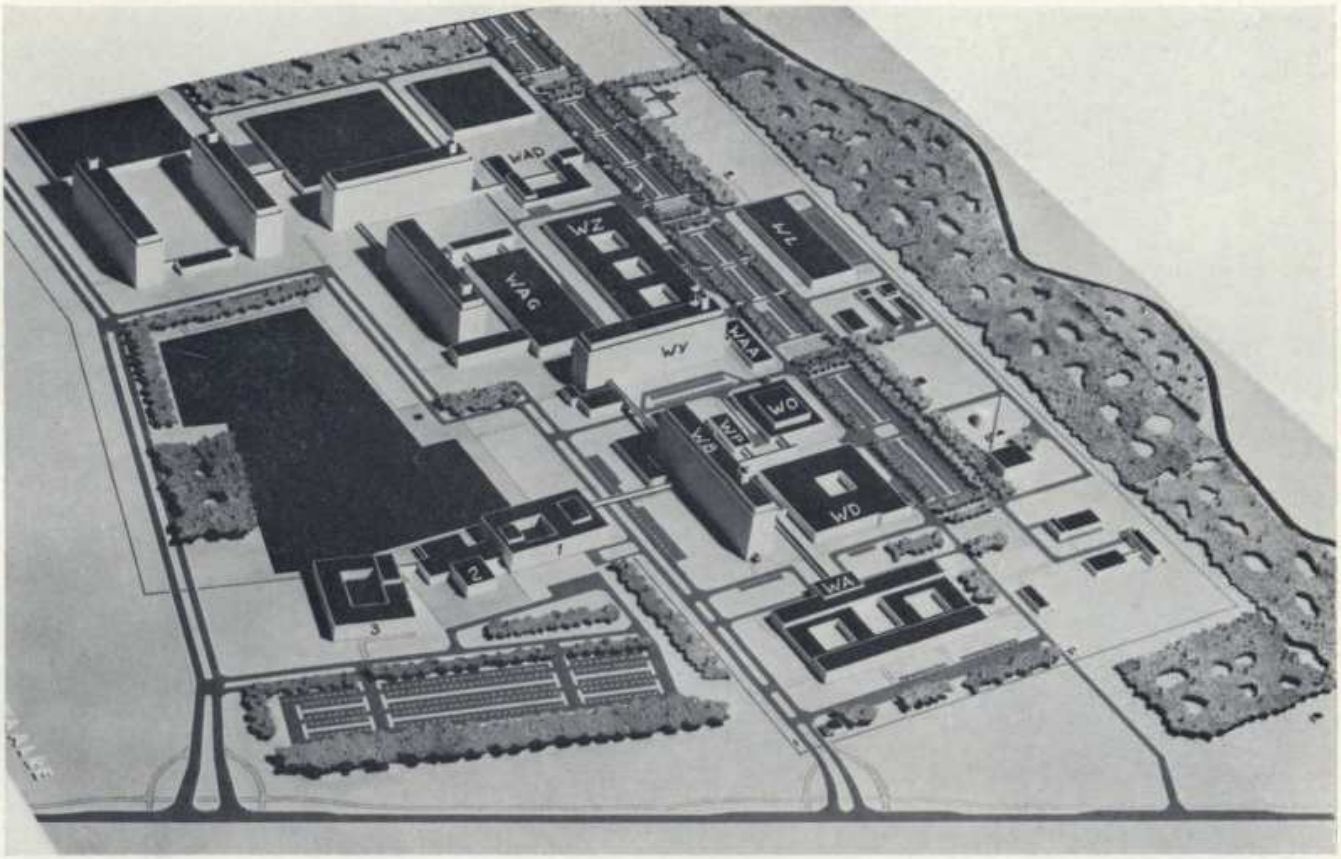
Door de vereiste contacten tussen het hoofdgebouw en de tot de sectoren behorende gebouwen was de situering ervan uiteraard een probleem dat alle aandacht vroeg. De in het basisplan geprojecteerde ligging zal eerst duidelijk tot zijn recht kunnen komen wanneer het laboratoriumcomplex Waalre volledig is gerealiseerd.

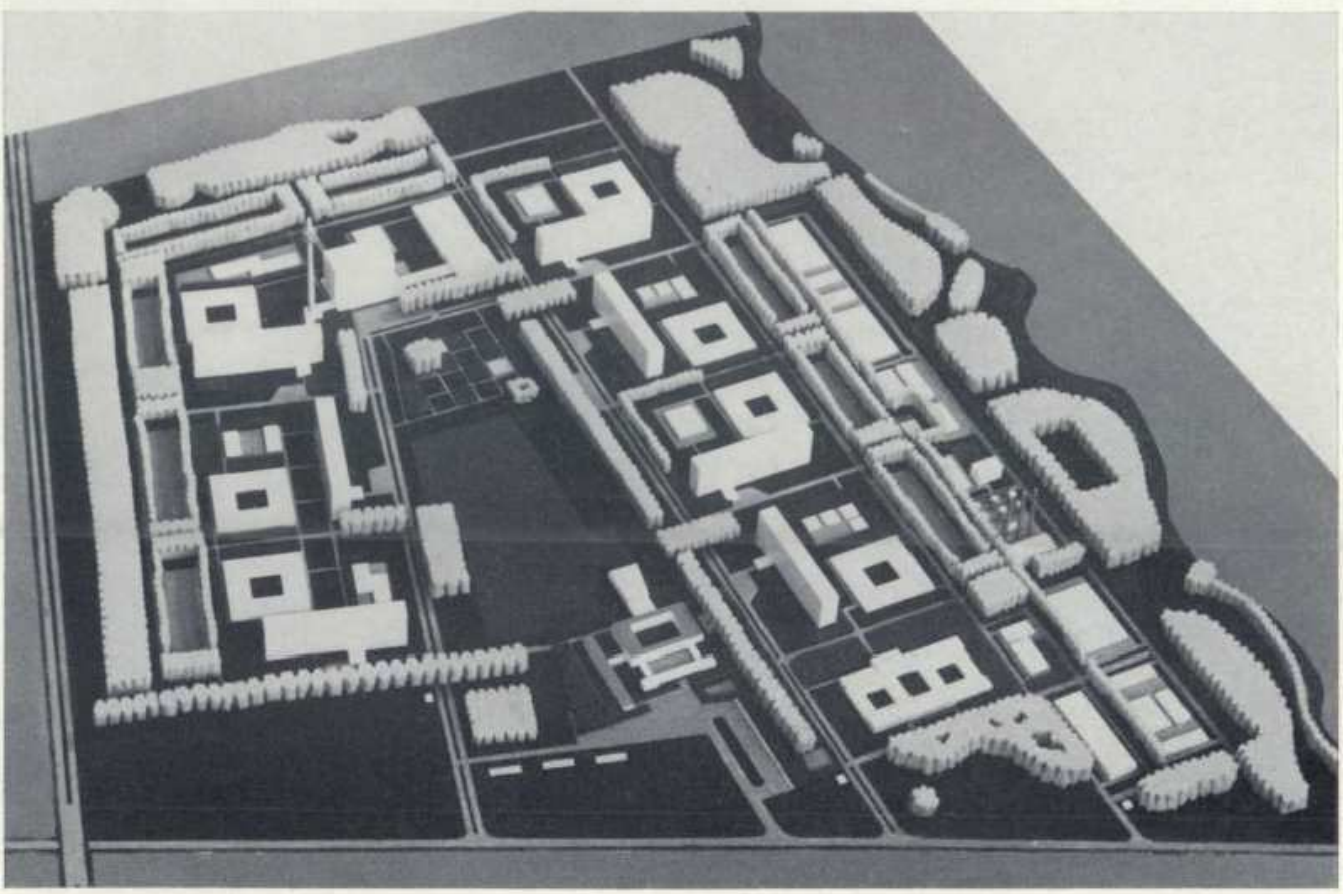
Het laboratoriumgebouw dat in 1958 als eerste op het complex is verrezen, het gebouw WA, was bestemd voor technologisch onderzoek en kan als een bijzonder laboratorium worden beschouwd. De hierin geprojecteerde ruimten wijken door hun specifieke eisen ten dele af van het patroon van een universeel laboratorium. Het gebouw heeft tevens gediend om ervaring op te doen met betrekking tot de inrichting, de ventilatie en de voorziening met water, gas enz. Reeds in de entourage van dit eerste gebouw, met zijn zorgvuldig beplante binnenhoven en zijn omringende begroeiing, herkent men het eerder genoemde uitgangspunt betreffende de landschappelijke opzet van het complex.

Hierboven een luchtfoto van het laboratoriumcomplex Waalre, genomen in het midden van 1968. Rechtsboven, een foto van de maquette die gemaakt is volgens de huidige plannen; daaronder een maquette uit 1958. Het terrein wordt aan de noordzijde (rechts) begrensd door het riviertje de Dommel. In de bovenste maquettefoto zijn de voornaamste bestaande en in aanbouw zijnde gebouwen voorzien van hun letteraanduiding. Verder, bij de dichtstbijzijnde oever van de vijver, *1* het hoofdgebouw, *2* de grote gehoorzaal en *3* het octrooigebouw (in aanbouw).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

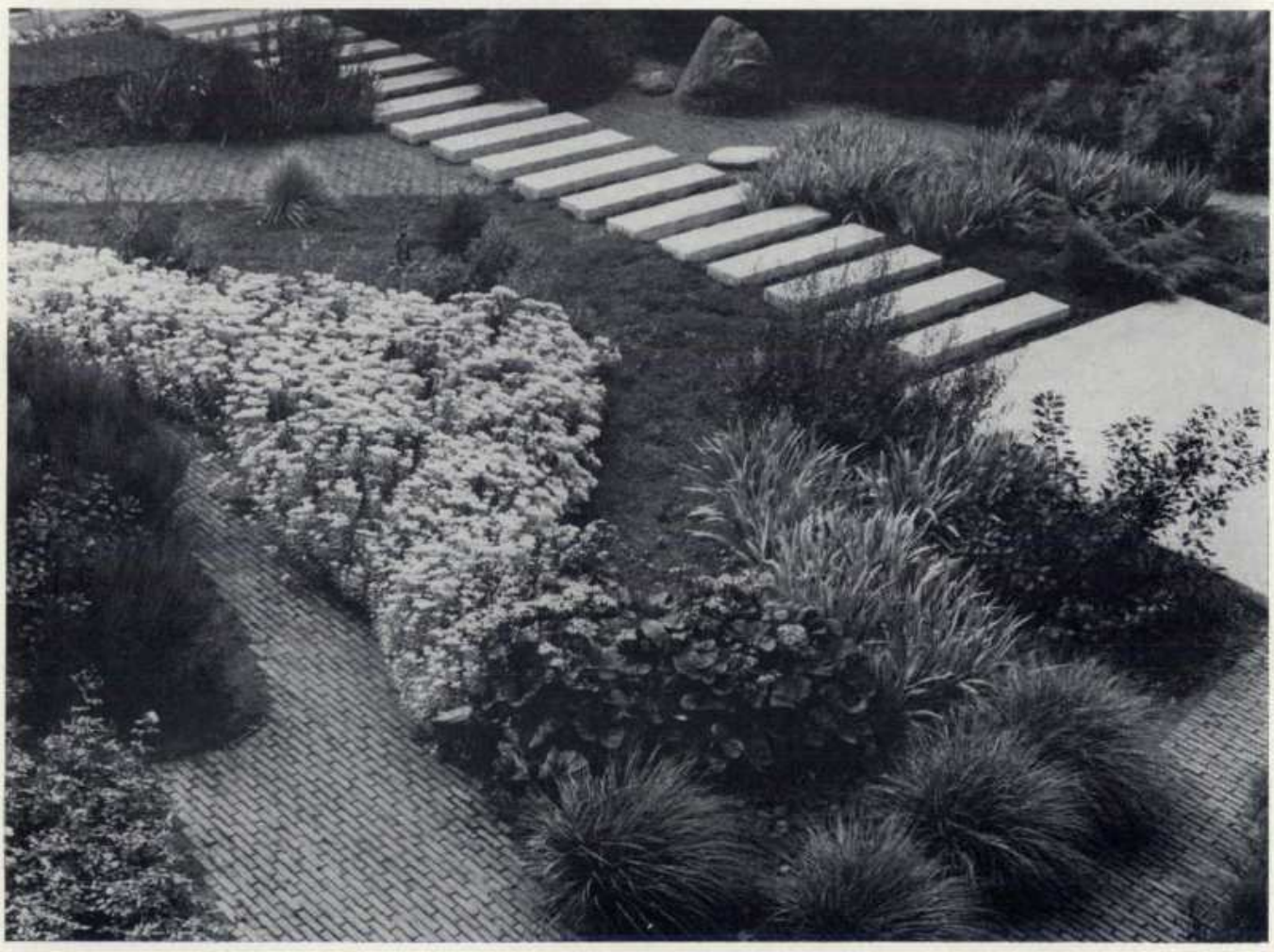
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023





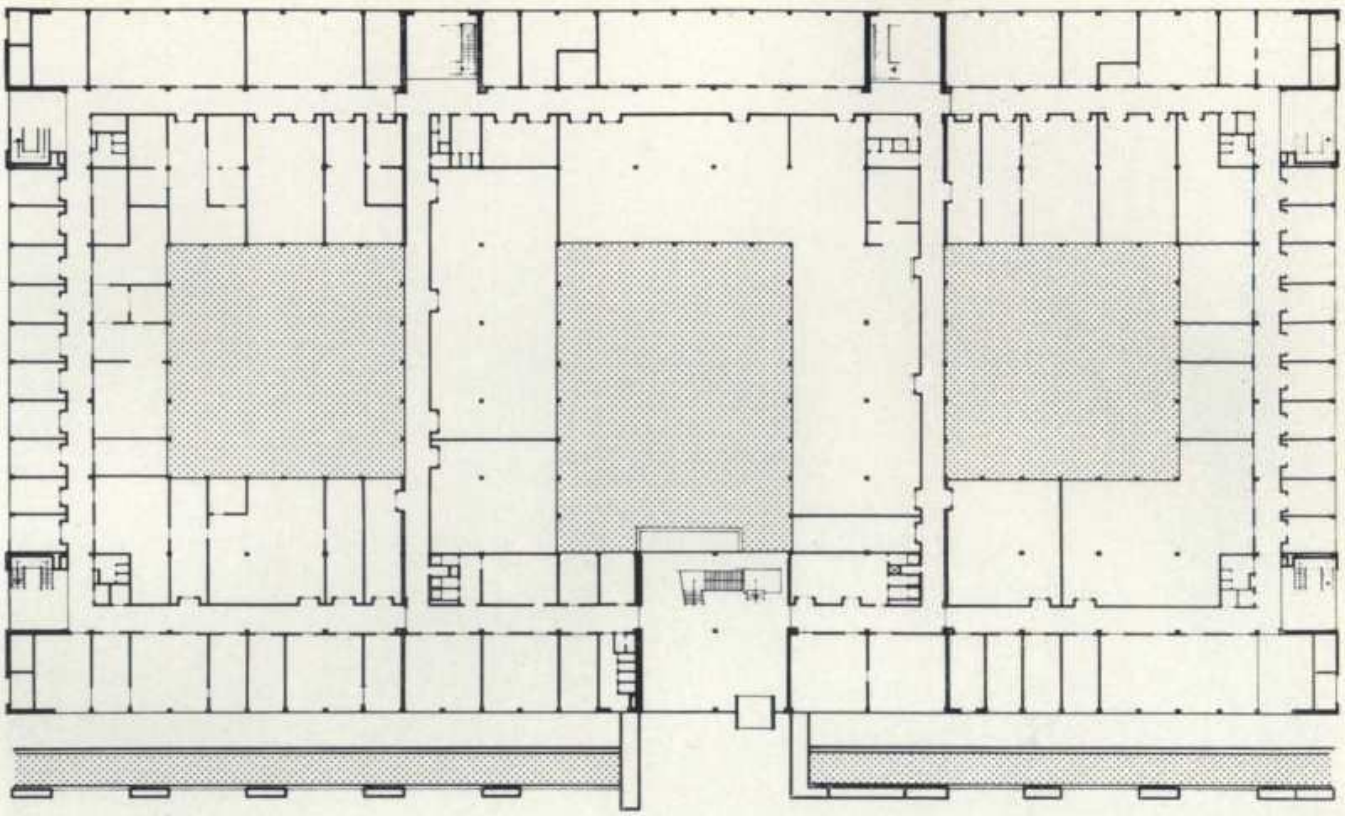
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023



Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

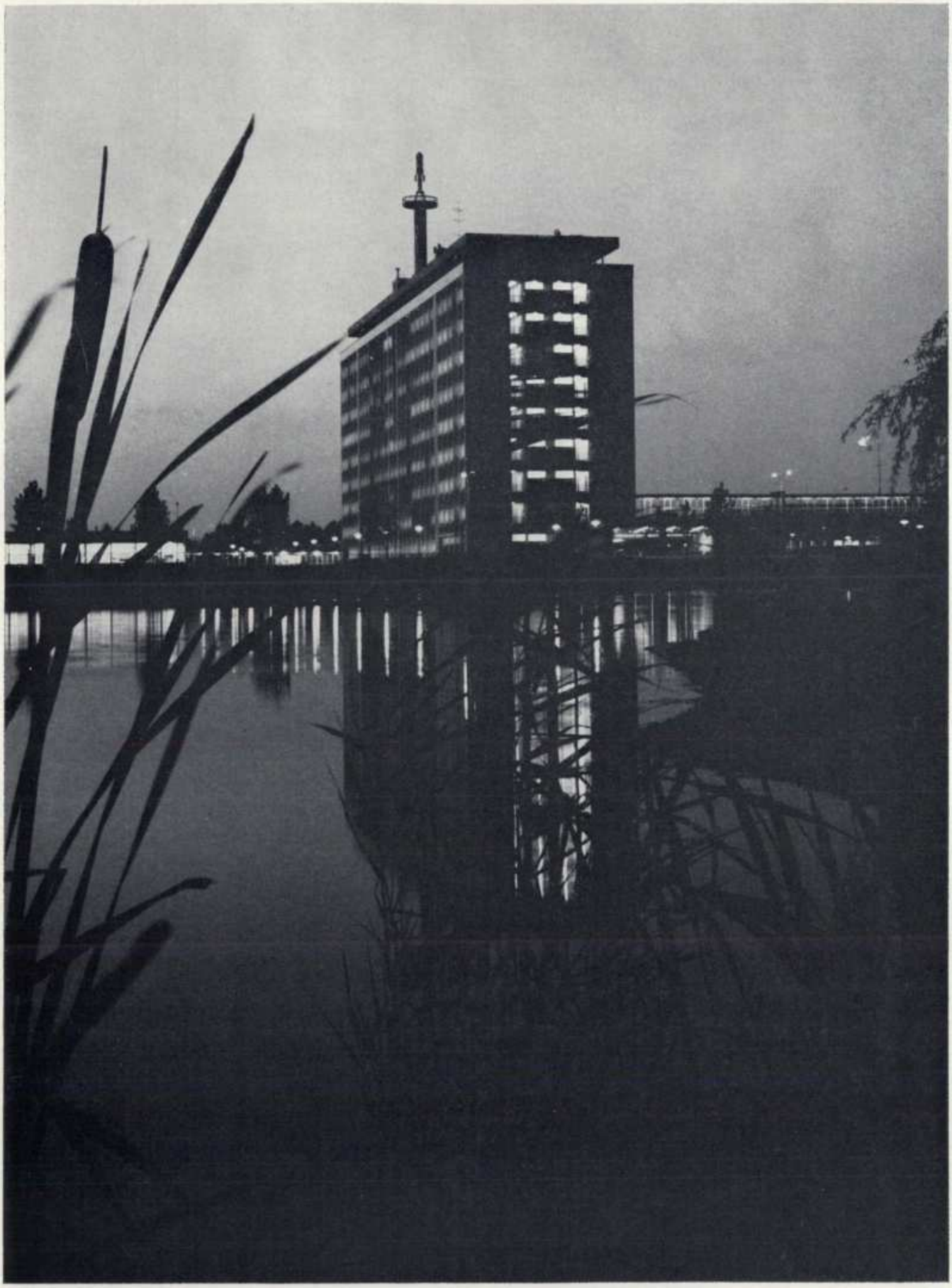
www.freeservicemanuals.info
11/14/2023



Het gebouw WA. Boven: plattegrond parterre, de drie binnenhoven en de afritten naar het sousterrain zijn geschaduwd. Rechts: de westgevel, met de boven de hoofdingang uitspringende koffiekamer. Op de linkerbladzijde de hall en een der binnenhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

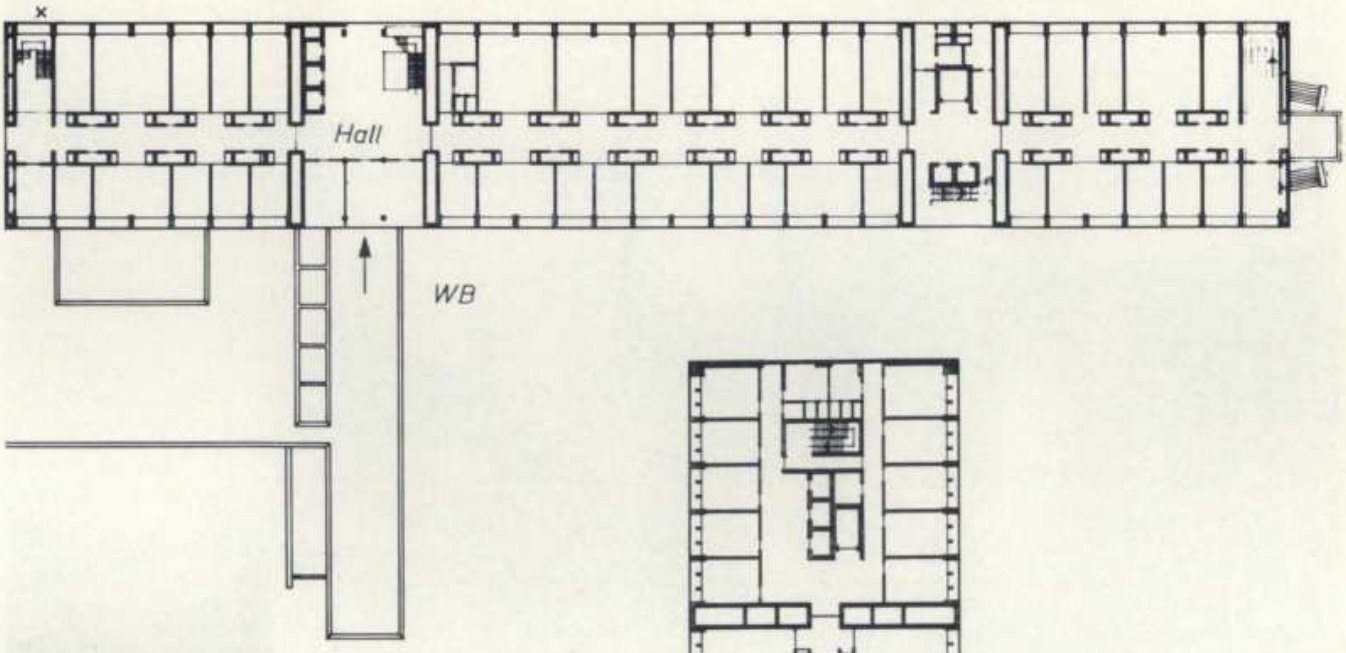
www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

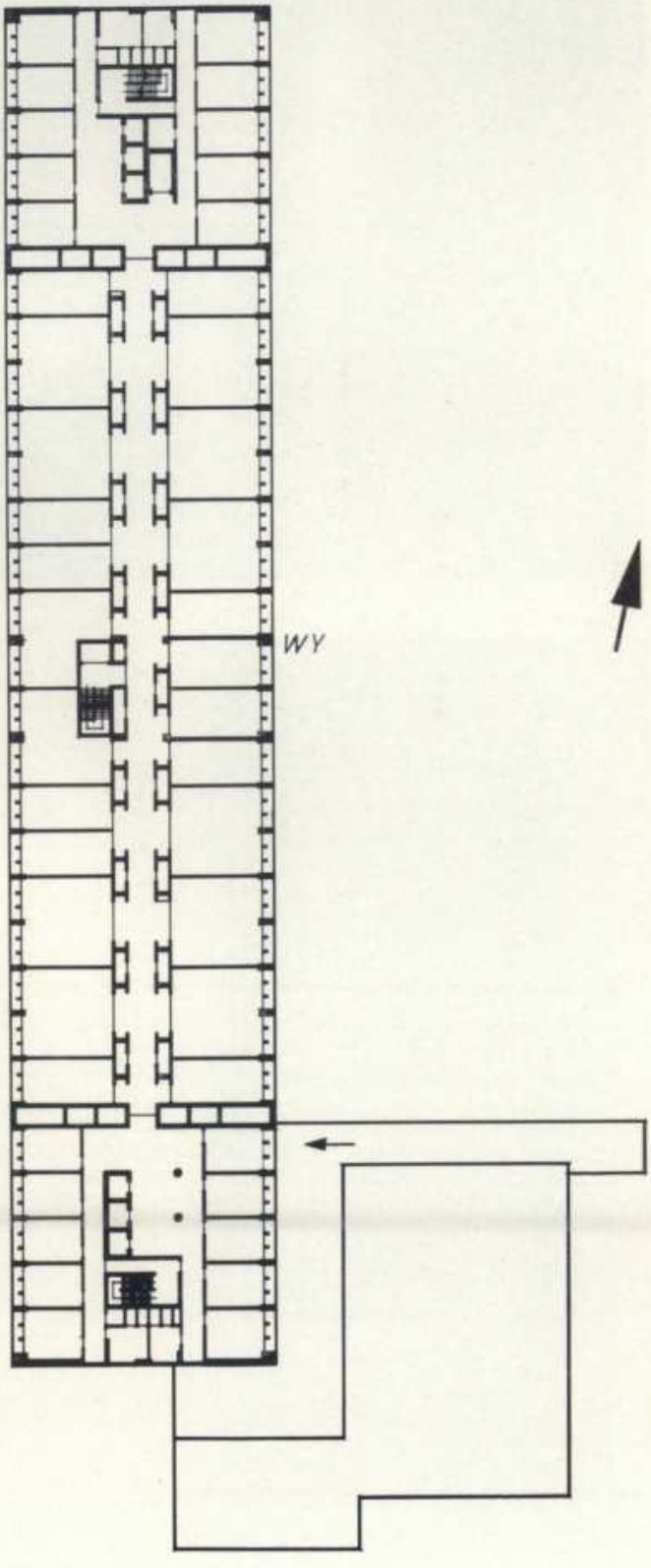


Het gebouw WY bij avond, gezien van de overzijde van de vijver. Ten tijde van de opname was de bouw van WAG nog niet begonnen.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023





Plattegrond van WB (boven) en WY (rechts). Een deel van de aanbouw van WB (koffiekamer, collegezaal) is weggelaten. In WB ligt de gang excentrisch.

Het eerste universele laboratorium, de hoogbouw WB, heeft in de praktijk over het algemeen goed voldaan. In de plattegrond van dit gebouw is de ligging van de laboratoriumkamers en de studeerkamers ter weerszijden van de gang duidelijk te herkennen. In dit gebouw bereiken alle water-, gas- en elektriciteitsleidingen de kamers via verticale schachten, die ook de afzuigkanalen van de zuurkasten bevatten. Daar destijds het aantal studeerkamers niet nauwkeurig kon worden bepaald, zijn er aan beide zijden van de gang schachten, zodat de als studeerkamer bedoelde ruimten desgewenst in laboratoriumkamers getransformeerd kunnen worden, wat ook op vrij grote schaal is gebeurd.

De plattegrond van het tweede universele laboratorium, de hoogbouw WY, is niet identiek met die van het gebouw WB. Bij het ontwerpen van het gebouw WY is dankbaar gebruik gemaakt van de ervaring die gedurende enige jaren was opgedaan met gebouw WB. Ten einde een gunstiger verhouding tussen de netto- en brutovloeroppervlakte te bereiken, zijn de laboratoriumkamers in gebouw WY in het midden van het gebouw aan weerszijden van de gang geconcentreerd, terwijl de studeerkamers aan de beide kopeinden zijn gesitueerd. Hierdoor kon o.a. worden volstaan met een kleiner aantal schachten, wat een belangrijke besparing op de bouwkosten betekende.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Boven: een der chemische laboratoriumzalen in WB. Links: schacht in WB; de schachten zijn op iedere verdieping toegankelijk via een deur. Rechtsboven: op het dak van WY; men herkent de bovenste uiteinden der schachten, op ieder kunnen acht ventilatoren worden geplaatst. Rechtsonder: de „voeding" van een schacht in de kelder van WY.

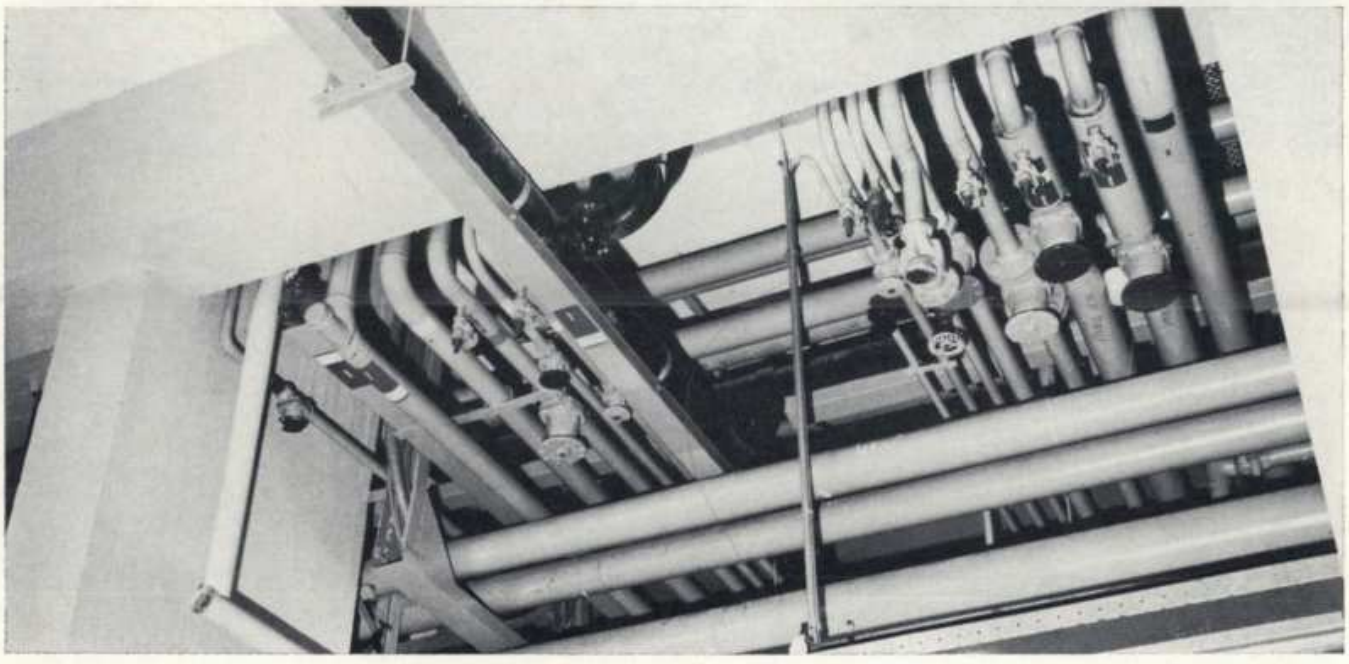
Het in WB toegepaste verticale elektrotechnische verdelingssysteem werd gewijzigd in een horizontaal systeem, waardoor een betere verdeling van de belasting kon worden verkregen. Ook werd het in WB toegepaste ventilatiesysteem [1] op een aantal punten gewijzigd, waardoor er in de schachten meer ruimte beschikbaar kwam voor de leidingen en voor bijzondere afzuigingen.

Met het oog op een zo goed mogelijke beheersing van het binnenklimaat heeft het gebouw WY, met zijn op het oosten en westen georiënteerde langsgevels, sterker geprofileerde gevels en kleinere glasoppervlakken dan gebouw WB.

De akoestische voorzieningen zijn in WY direct tegen de onderzijde van de vloeren aangebracht, waardoor de verdiepinghoogte kon worden verkleind. Hierdoor werd het mogelijk om in een gebouw van ongeveer hetzelfde volume als gebouw WB — dat is uitgevoerd met verlaagde akoestische plafonds — één verdieping meer onder te brengen.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

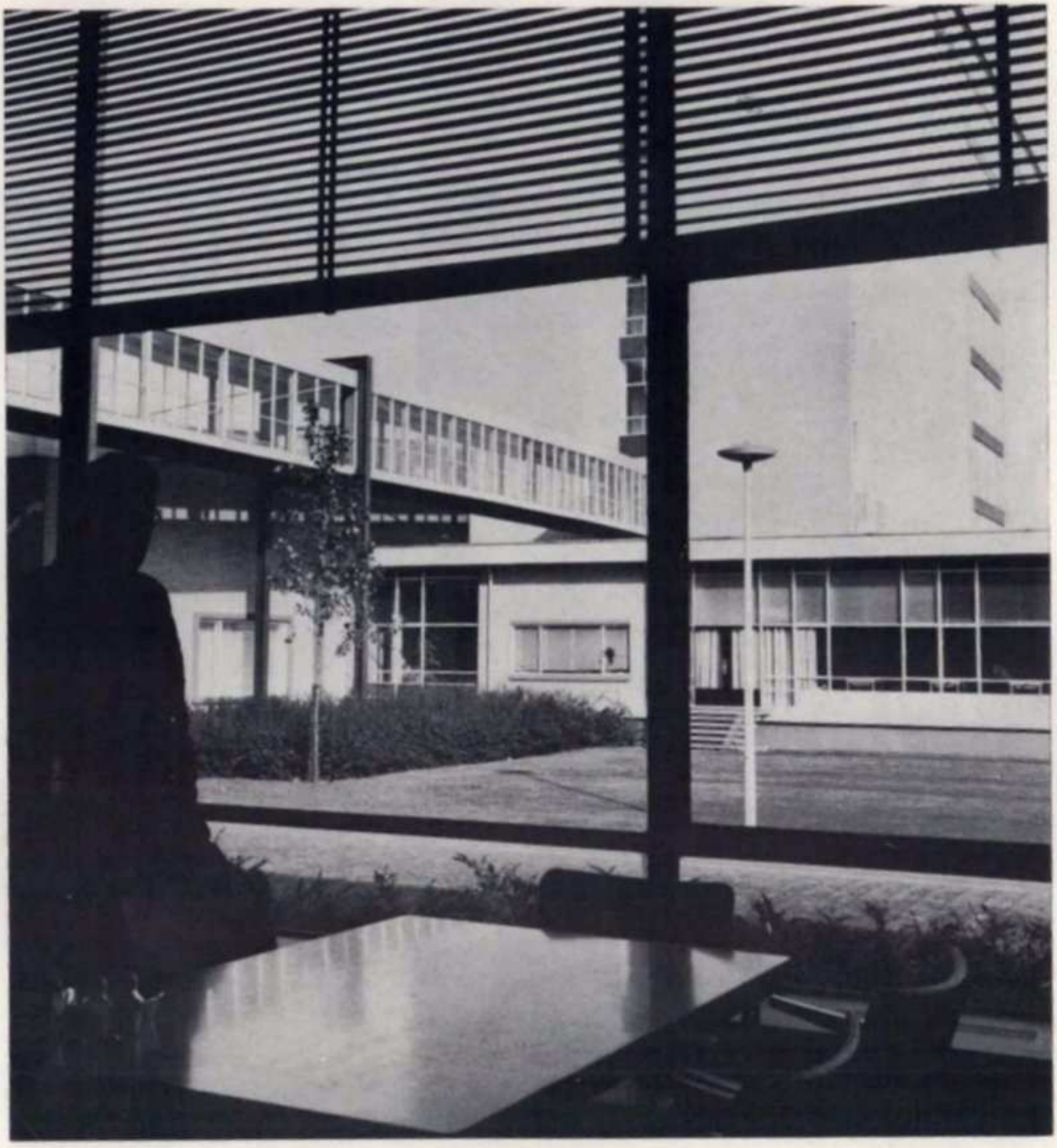


Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Zithoek bij de ingang van de collegezaal, die zich in de aanbouw van WB bevindt, met metaalplastiek van Toon Kelder (Den Haag), in september 1969 aan het Laboratorium aangeboden door prof. Casimir ter gelegenheid van zijn zestigste verjaardag.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!



Een blik op het gebouw WB, vanuit de koffiekamer van WY. Linksboven ziet men de loopbrug die beide gebouwen verbindt.

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

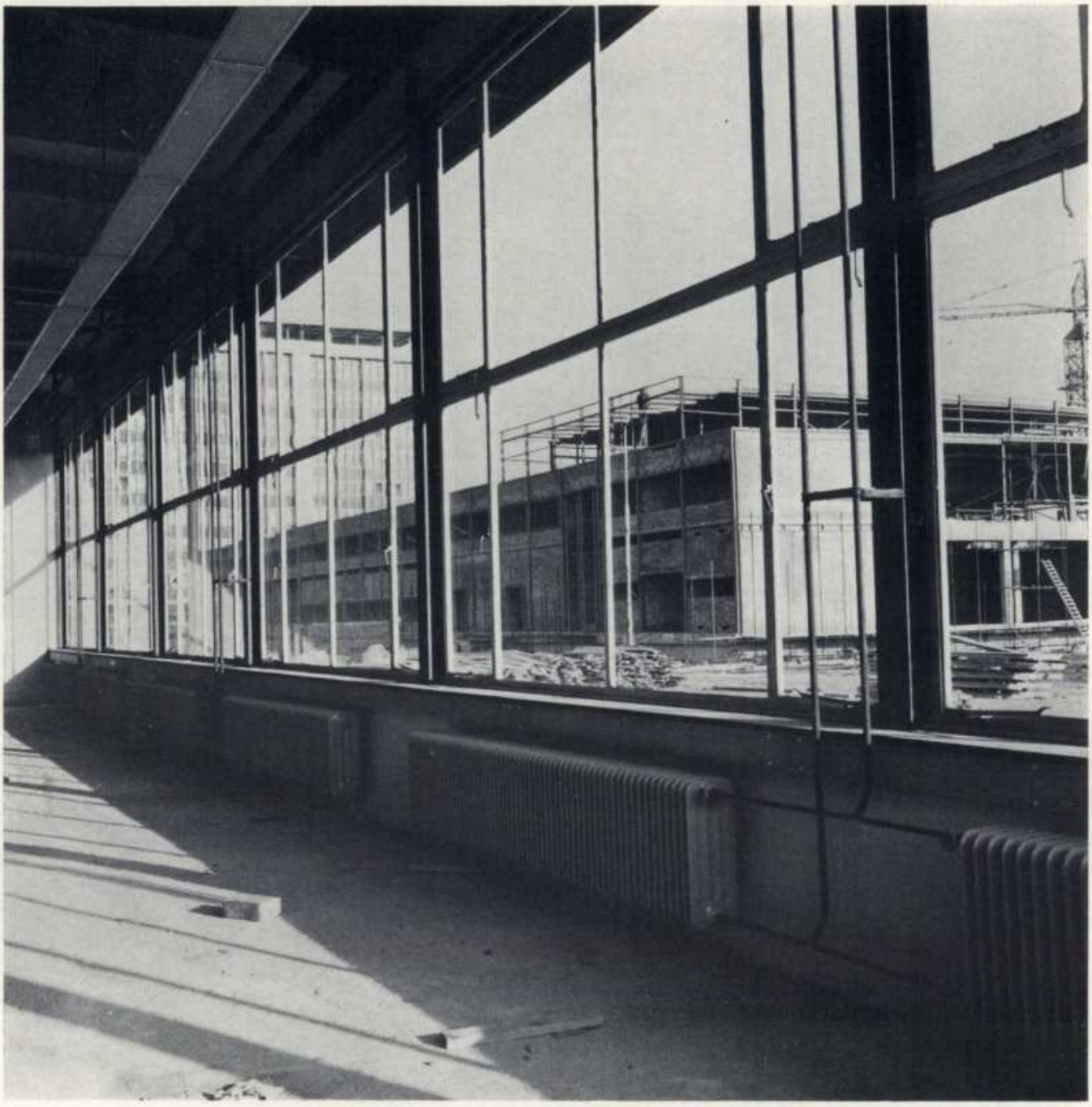
In de opzet van de bij de twee universele laboratoria behorende werkplaatsen is eveneens een duidelijk verschil waar te nemen. De werkplaats WD, behorende bij het laboratoriumgebouw WB, is ontworpen als een eenvoudige werkplaats voor glas en metaal, voorzien van een kelder waarin de diverse leidingen en de opslagplaatsen voor materiaal zijn ondergebracht. De werkplaats WZ, horende bij het laboratoriumgebouw WY, komt alleen in uiterlijk met het gebouw WD overeen. De snelle ontwikkeling op het gebied van speciale werkplaatstechnieken heeft genoopt tot een opzet die het mogelijk maakt om ook in de toekomst aan bijzondere eisen te kunnen voldoen. Deze bewegen zich vooral op het terrein van de milieubeheersing en de afwezigheid van trillingen. De kelder onder dit gebouw is niet uitsluitend bestemd voor magazijnen en leidingen, maar een groot deel ervan is geschikt om bijzondere technologische afdelingen te huisvesten.

In de faze waarin de bouw van het complex Waalre zich thans bevindt, omvat het behalve het reeds genoemde gebouw WA nog een vijftal andere bijzondere laboratoria, waarvan er drie reeds in gebruik zijn en twee in aanbouw. In de eerste sector bevinden zich een gebouw (WP) waarin een kryogeen laboratorium is ge-

Boven: nieuwbouw octrooigebouw, gezien vanaf WY; rechts op de foto een deel van de vijver. Rechts: nieuwbouw WAG, gezien vanuit nieuwbouw WZ (vgl. maquette blz. 161); op de achtergrond WY.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023



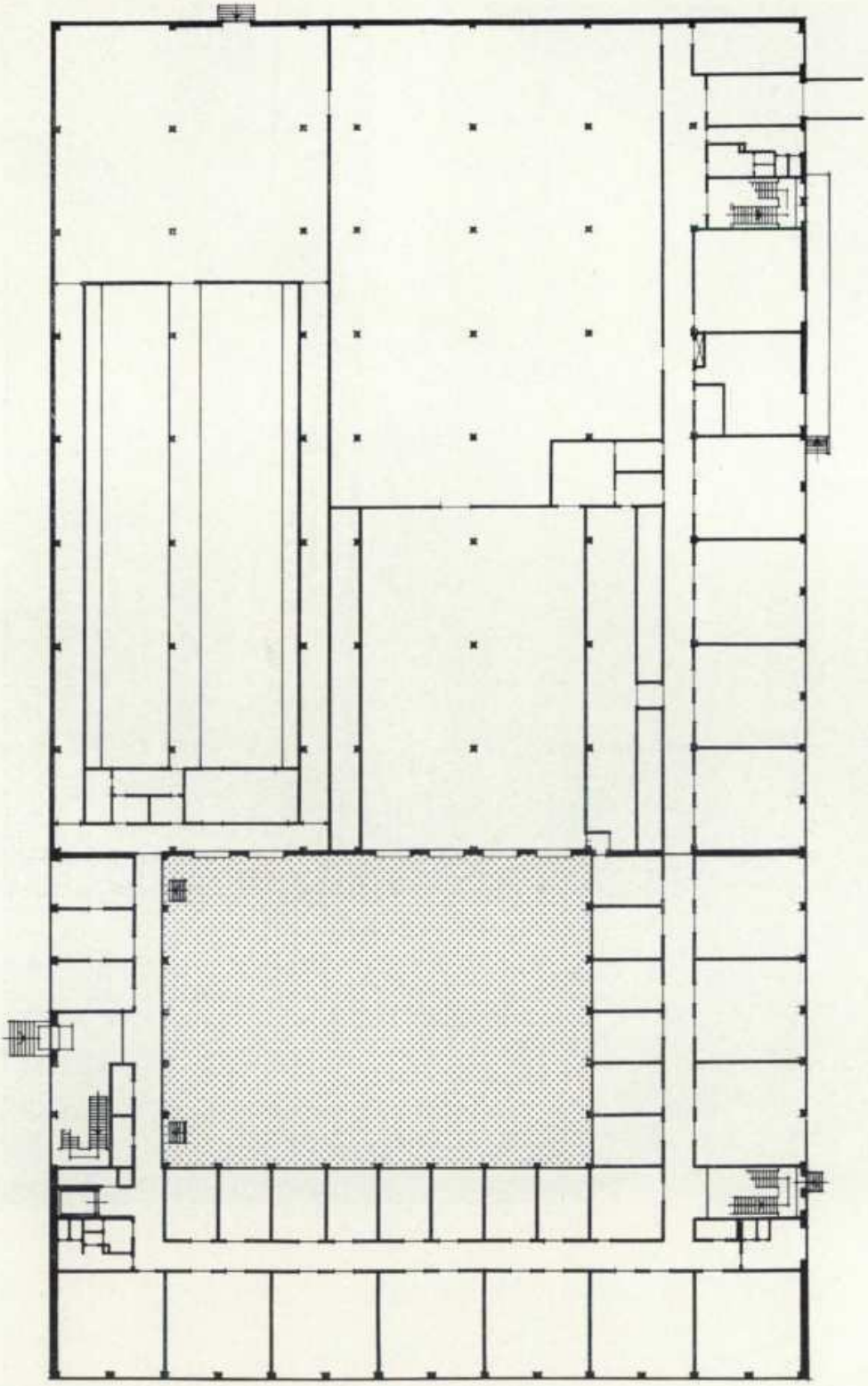
huisvest, en een tweede gebouw (WO) waarin een televisie- en een akoestische studio alsmede de bijbehorende laboratoriumkamers zijn ondergebracht. Beide gebouwen zijn door een overdekte gang met elkaar en met het gebouw WB verbonden. Het bijzondere laboratorium WAA, in de tweede sector gelegen, is ingericht als wetenschappelijk rekencentrum. In aanbouw zijn een laboratorium voor radiochemie en een laboratorium voor speciale stofarme technieken, zoals vereist voor de fabricage van bepaalde halfgeleiderelementen en geïntegreerde schakelingen.

Sedert in 1958 met de bouw van het laboratoriumcomplex Waalre werd begonnen, in welke periode het aantal medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium toenam van 1400 tot 2300, is aan netto laboratorium- en werkplaatsruimte circa 50 000 m² gerealiseerd. Hieraan zullen aan ruimte voor research in het midden van 1971 nog circa 8000 m² worden toegevoegd.

Voor de verdere toekomst worden plannen voorbereid voor de bouw van een derde universeel laboratorium en van een bijzonder laboratorium voor kernfysische technieken.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

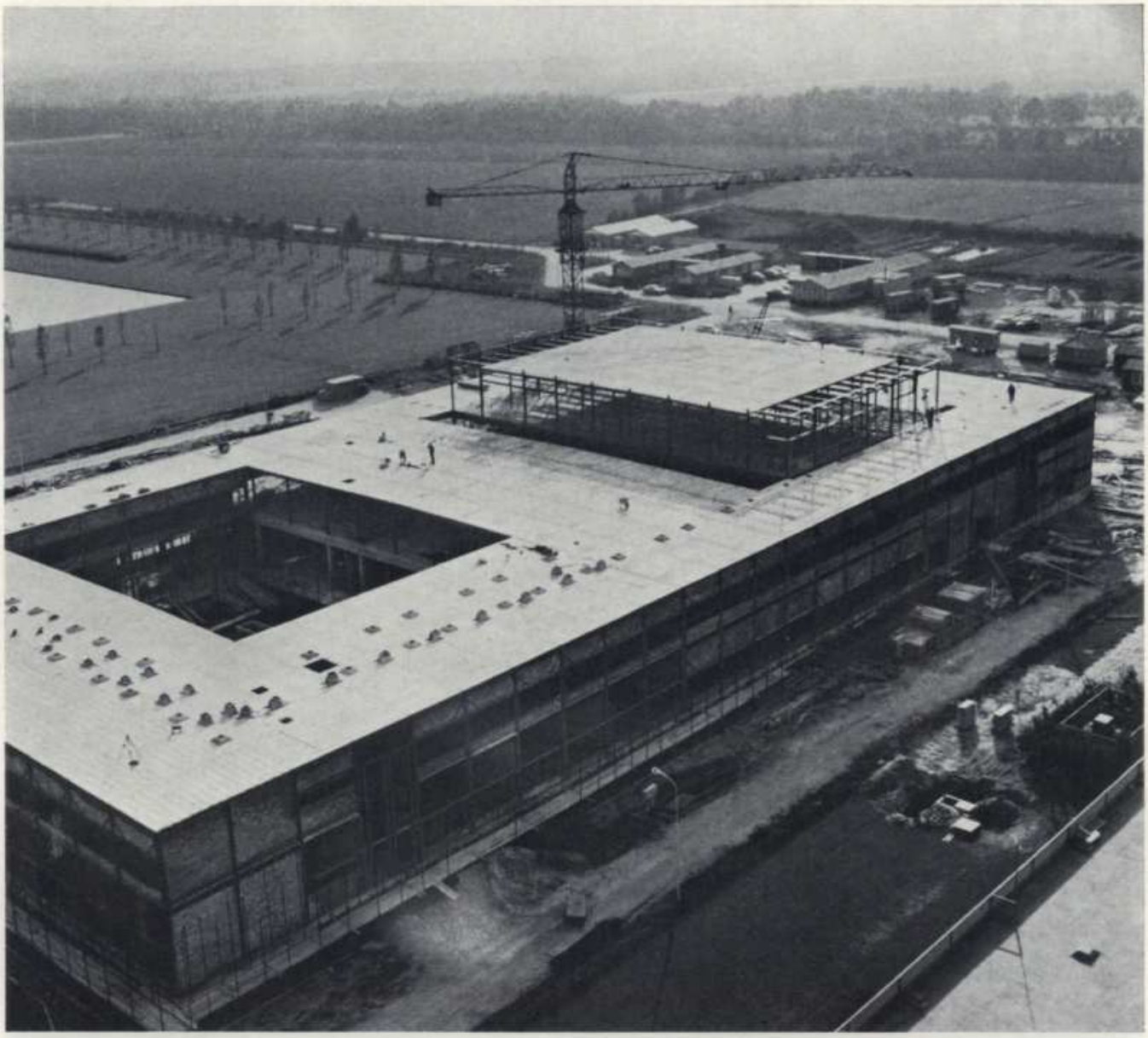


Plattegrond WAG. Rondom het binnenhof (geschaduwd) liggen aan drie zijden gewone studeer- en laboratoriumkamers. Aan de vierde zijde (in de tekening boven) grenzen twee stofarme ruimten. De daarvoor vereiste ventilatoren staan op een speciale vloer, één verdieping hoger. In de dakopbouw daarboven, zie de foto hiernaast, wordt de apparatuur voor de klimaatregeling geplaatst.

De werkdag loopt ten einde. . .

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023



Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Hier draait een klein stroomaggregaat met stirlingmotor op warmte van een kolenvuurtje. Motor en warmtebron zijn met elkaar verbonden door een warmtepijp. Deze wijze van warmtetransport is van groot belang voor tractiemotoren.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Mogelijkheden van de stirling-tractiemotor in onze toekomstige samenleving

R. J. Meijer

Inleiding

In onze sterk veranderende samenleving wordt er meer en meer over ons welzijn gesproken, en inderdaad wordt het een steeds groter probleem de bewoonbaarheid van de Aarde te handhaven of voor de toekomst veilig te stellen. Ons nageslacht zal ons ook terecht kunnen verwijten dat wij zeer verkwistend optreden met het „gemeenschappelijk" bezit van de grondstoffen, die we op grote schaal vernietigen door verbranding of onvindbaar maken door ze over de Aarde te verspreiden.

Een van de vele facetten van dit probleem wordt gevormd door de grote hoeveelheid vuil en verontreinigingen die wij in onze moderne samenleving produceren en die hand over hand — ofwel: exponentieel — toenemen, enerzijds door de bevolkingsaanwas en anderzijds in veel grotere mate door onze welvaart, terwijl de biosfeer constant van grootte blijft en de natuurlijke (biologische) schoonmaak in absolute zin zelfs achteruitgaat [1].

De aanduiding vuil of verontreiniging moeten we in dit verband niet altijd stoffelijk opvatten. Het gaat om dingen die ons milieu, onze omgeving, op onnatuurlijke wijze beïnvloeden: behalve zaken als luchtvervuiling en watervervuiling, bedoelen we er evenzeer lawaai, trillingen, warmte, enz. mee. De Amerikanen spreken dan ook van air pollution, water pollution, noise pollution (air-borne en structure-borne) en thermal pollution.

Het is duidelijk dat het bovenstaande niet in een emotioneel vlak moet worden getrokken, maar dat we de nuchtere cijfers moeten laten spreken. Helaas is er echter veel te weinig feitenmateriaal om met zekerheid iets te zeggen, maar de aanwijzingen die er zijn, moeten ons verontrusten. Extrapolatie van hetgeen wel bekend is, doet ons ontdekken dat onze samenleving vroeg of laat vastloopt, en dat er daarom nu reeds iets moet gebeuren. Men kan alleen van mening verschillen over het tijdstip waarop de samenleving vast zal lopen wanneer er niets gebeurt.

Om enig idee te geven hoe sommige zaken ervoor staan, wil ik als voorbeeld nemen het verwachte toekomstige energieverbruik in de wereld. Zoals bekend, gaat het „opwekken" — beter: „omvormen" — van energie nagenoeg altijd gepaard met een of andere vervuiling. Zo zal zelfs een kernenergiecentrale, ook als er geen ongelukken gebeuren, toch nog thermische vervuiling geven, een met kolen gestookte centrale geeft thermische en luchtvervuiling, een benzine- en een dieselmotor geven thermische vervuiling, luchtvervuiling en lawaai. Het totale energieverbruik in de wereld hangt af van het aantal mensen dat er op gegeven ogenblik zal zijn en van de hoeveelheid energie die zij per persoon zullen verbruiken. *Fig. 1* geeft de toeneming van de wereldbevolking en de afneming van de beschikbare leefruimte per persoon weer, uitgezet tegen de tijd tot het jaar 2000. *Fig. 2* geeft het verwachte jaarlijkse energieverbruik in de wereld [2] [3].

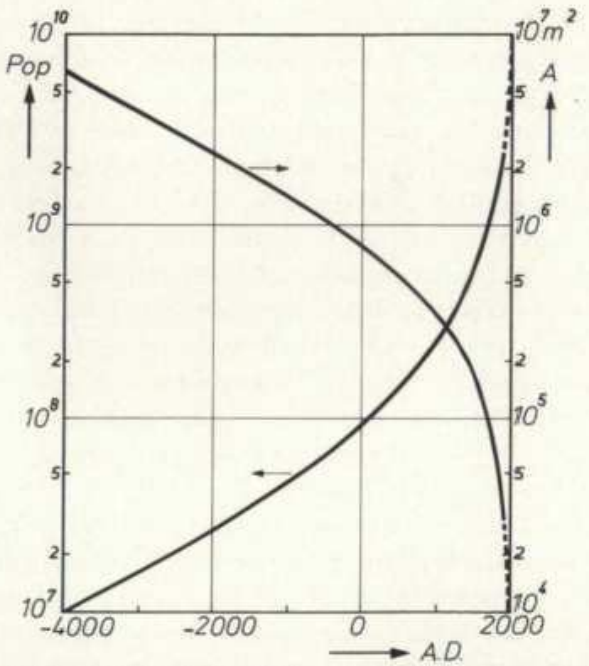


Fig. 1. De wereldbevolking (*Pop*) en de per persoon op Aarde beschikbare oppervlakte (*A*), uitgezet tegen de tijd. Als de huidige explosieve toeneming doorgaat, zal de Aarde in het jaar 2000 bewoond worden door ca. zeven miljard mensen en de per persoon beschikbare oppervlakte zijn afgenomen tot één hectare.

Dr. ir. R. J. Meijer, wetenschappelijk adviseur van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

[1] Zie hiervoor b.v. G. E. Hutchinson, The biosphere, Sci. Amer. **223**, no. 3, 44-53, sept. 1970 (issue on the grand-scale cyclic mechanisms of life on the earth), en Committee on Resources and Man, Resources and man, Freeman, San Francisco 1969.

[2] Ontleend aan P. S. Myers, Automobile emissions — a study in environmental benefits versus technological costs, paper 700182 van Society of Automotive Engineers, Inc.

[3] Ontleend aan R. P. Hammond, Low cost energy: a new dimension, Science Journal **5**, no. 1, 34-42, 44, jan. 1969.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

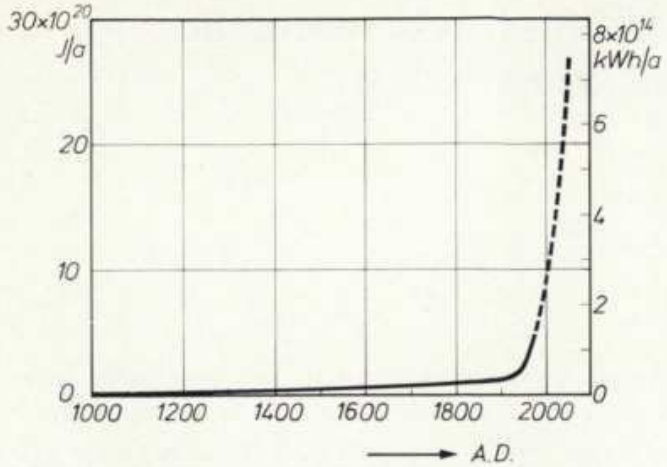


Fig. 2. Het jaarlijkse energieverbruik, uitgezet tegen de tijd. Als de huidige toeneming doorgaat, zal het verbruik in het jaar 2000 ca. 9×10^{20} Joule ofwel $2{,}5 \times 10^{14}$ kWh zijn.

We zien dus dat er als er in de komende decennia geen speciale maatregelen genomen worden, een geweldige toeneming van het energieverbruik zal plaatsvinden. Een van de grote energieverbruikers, en daardoor ook milieuvervuilers, is de automobiel, die bij voorbeeld in de Verenigde Staten 20% van het totale energieverbruik voor zijn rekening neemt en daar zelfs 60% van de totale luchtvervuiling veroorzaakt.

De door automobielen veroorzaakte luchtverontreiniging is een zeer complex probleem. De hoofdbestanddelen van de uitlaatgassen die men schadelijk acht, zijn koolmonoxide (CO), stikstofoxiden (NO en NO_2, meestal aangeduid met NO_x), onverbrande koolwaterstoffen (C_xH_y), zwaveldioxide (SO_2) en in zekere zin ook kooldioxide (CO_2); verder kleine vaste bestanddelen, zoals roet en eventueel loodverbindingen.

De bestrijding van de door automotoren veroorzaakte luchtverontreiniging wordt door de regeringen ter hand genomen door het uitvaardigen van wettelijke voorschriften, die aangeven welke hoeveelheden van de schadelijke stoffen ten hoogste door één voertuig mogen worden geproduceerd.

Hoewel over de luchtverontreinigingen als zodanig en over de gevolgen ervan nog weinig wetenschappelijks is vastgelegd, schijnt het dat men met het vaststellen van de maximale hoeveelheden — afgezien van economische redenen — voorzichtig te werk moet gaan, omdat verschillende verontreinigingen op elkaar inwerken. Zo is de bekende „smog" het resultaat van een chemische reactie waarin de onverbrande koolwaterstoffen (C_xH_y), de stikstofoxiden (NO_x) en het zonlicht een grote rol spelen. De omstandigheden kunnen hierbij zo zijn dat een vermindering van de hoeveelheid NO_x de hoeveelheid smog doet toenemen. Dit betekent dat men met het voorschrijven van de maximaal toegestane hoeveelheden „gebalanceerd" te werk moet gaan.

Een ander voorbeeld van een probleem waarover men in wetenschappelijke kringen nog niet is uitgepraat, is de invloed van kooldioxide en van zwevende vaste bestanddelen in de atmosfeer op de gemiddelde temperatuur op Aarde. Door toeneming van de hoeveelheid CO_2 — gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen — moet door het zg. „broeikas-effect" de gemiddelde temperatuur op Aarde stijgen. Toch is deze temperatuur de laatste decennia aan het dalen; men wijt de daling aan de zeer sterk toegenomen hoeveelheid stof in de atmosfeer, waardoor de zonnestraling de aarde minder goed kan bereiken, welk effect het broeikaseffect van het CO_2 zou overheersen.

Tegen de achtergrond van de bovenbeschreven problematiek — waarbij de gehele mensheid betrokken is — en de wettelijke voorschriften die genomen zijn of binnenkort genomen worden, wil ik de eigenschappen van de stirlingmotor beschrijven. De stirlingmotor zou bij toepassing als tractiemotor een bijdrage kunnen leveren aan de bestrijding van de luchtverontreiniging en het lawaai, en is bovendien zeer geschikt voor andere warmtebronnen dan die waarin fossiele brandstoffen worden gebruikt.

In de Verenigde Staten van Amerika zijn het eerst wettelijke maatregelen genomen in de staat Californië, later zijn deze overgenomen door de federale regering. Voor de jaren zeventig is een programma van geleidelijk zwaarder wordende eisen opgesteld, waaraan de automotoren moeten voldoen. Er is bovendien bij het parlement een neiging te bespeuren om de eisen in versneld tempo in te voeren. Hoewel in Europa ook reeds enige maatregelen genomen zijn, zal ik mij voor de duidelijkheid beperken tot die van de Verenigde Staten.

Bij het opstellen van wettelijke maatregelen is het een probleem geweest hoe bepaalde eisen ondubbelzinnig vast te leggen. Daartoe gebruikt men thans meetvoorschriften (cycli) die representatief zijn voor stadsverkeer. *Fig. 3* toont de cyclus die is voorgeschreven door

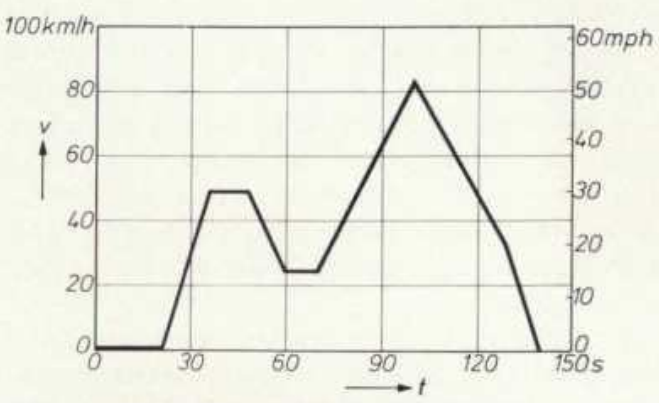


Fig. 3. Bij het onderzoek naar de hoeveelheden C_xH_y en CO in de uitlaatgassen van auto's volgens de eisen die het U.S. Department of Health, Education and Welfare (HEW) thans stelt, moet de snelheid v van de auto op de hier geschetste wijze in de tijd gevarieerd worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Tabel I. Uitlaatgassen van auto's met benzinemotoren en met een gewicht van ten hoogste 2700 kg. In de eerste kolom de situatie in de Verenigde Staten van Amerika in 1963. In de overige kolommen de in de desbetreffende jaren geldende eisen, resp. van de federale regering en van de staat California [4]. De eisen van de federale regering hebben in de jaren '66-'71 betrekking op de cyclus volgens fig. 3 die vanaf 1972 op de cyclus van fig. 4. De eisen van California hebben alle betrekking op de eerstgenoemde cyclus.

	1963		1966	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1980	1980
koolwaterstoffen C_xH_y (g/mijl)	5,7	Fed.	—	3,3	3,3	2,2	2,2	2,9+	2,9	2,9	0,5	0,25*	0,14**
		Calif.	3,4	3,4	2,2	2,2	2,2	1,5	1,5	1,5	0,5		
koolmonoxide CO (g/mijl)	87,2	Fed.	—	34,0	34,0	23,0	23,0	37,0+	37,0	37,0	11,0	4,7*	6,2**
		Calif.	34,0	34,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	12,0		
stikstofoxiden NO_x (g/mijl)	5,8	Fed.	—	—	—	—	—	—	3,0*	3,0*	0,9*	0,4*	0,4**
		Calif.	—	—	—	—	4,0	3,0	3,0	1,3	1,0*		
deeltjes (incl. lood) (g/mijl)	0,3	Fed.	—	—	—	—	—	—	—	—	0,1*	0,03*	0,03**
		Calif.	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		Fed.	cyclus volgens fig. 3					cyclus volgens fig. 4					
		Calif.	cyclus volgens fig. 3					cyclus volgens fig. 3					

* Voorstel.
** Research goals van National Air Pollution Control Administration (NAPCA) van U.S. Dept. of Health, Education and Welfare
\+ Blijkens het Federal Register van 10 nov. 1970 zijn deze waarden onlangs enigszins verhoogd (2,9 → 3,4; 37,0 → 39,0).

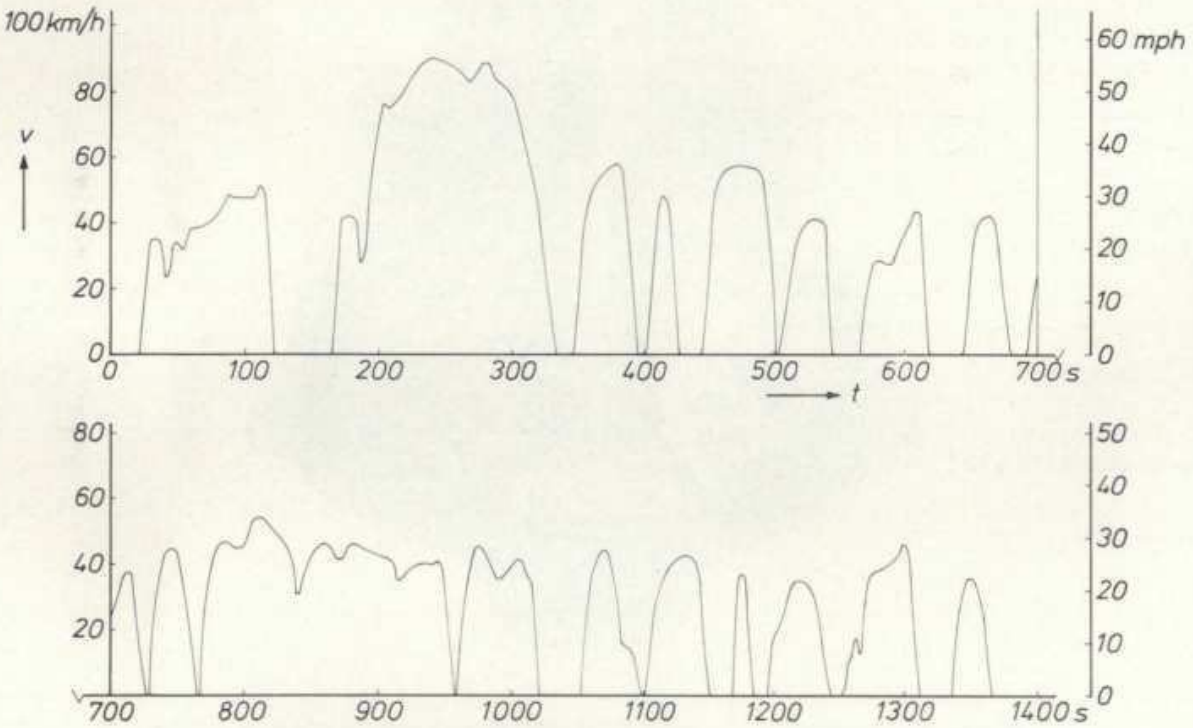


Fig. 4. Als fig. 3, volgens de eisen die met ingang van 1972 worden gesteld door het U.S. Dept. HEW. In de toekomst zullen ook de hoeveelheden NO_x en vaste stof gemeten moeten worden.

het U.S. Department of Health, Education and Welfare (HEW) — nagenoeg ongewijzigd overgenomen van de California-test — en die geldig is tot eind 1971. Men beperkt zich voorlopig tot onverbrande koolwaterstoffen (C_xH_y) en koolmonoxide (CO); in de toekomst volgen ook stikstofoxiden (NO_x) en vaste deeltjes. De gemiddelde specifieke hoeveelheden die de automotor tijdens de in Californië gebruikelijke rijcyclus produceert — die viermaal gedaan moet worden met koude start en driemaal met warme start —, worden uitgedrukt in grammen per mijl.

In *tabel I* zien we in de eerste kolom de gemiddelde emissie, voordat enigerlei maatregel in verband met luchtverontreiniging genomen was. In de kolom voor 1973 ziet men voor het eerst een voorgestelde eis voor NO_x. In 1972 gaat voor de gehele Verenigde Staten een nieuwe federale test gelden, met veel accelereren, decelereren en stationair draaien over een totale afstand van 7,5 mijl [4]. De gehele test duurt 1370 seconden, de koude start meegerekend (*fig. 4*).

[4] Control of air pollution from new motor vehicles and new motor vehicle engines, U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare (HEW), Washington D.C., Federal Register **35**, 11334-11359, 1970 (no. 136, deel II).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

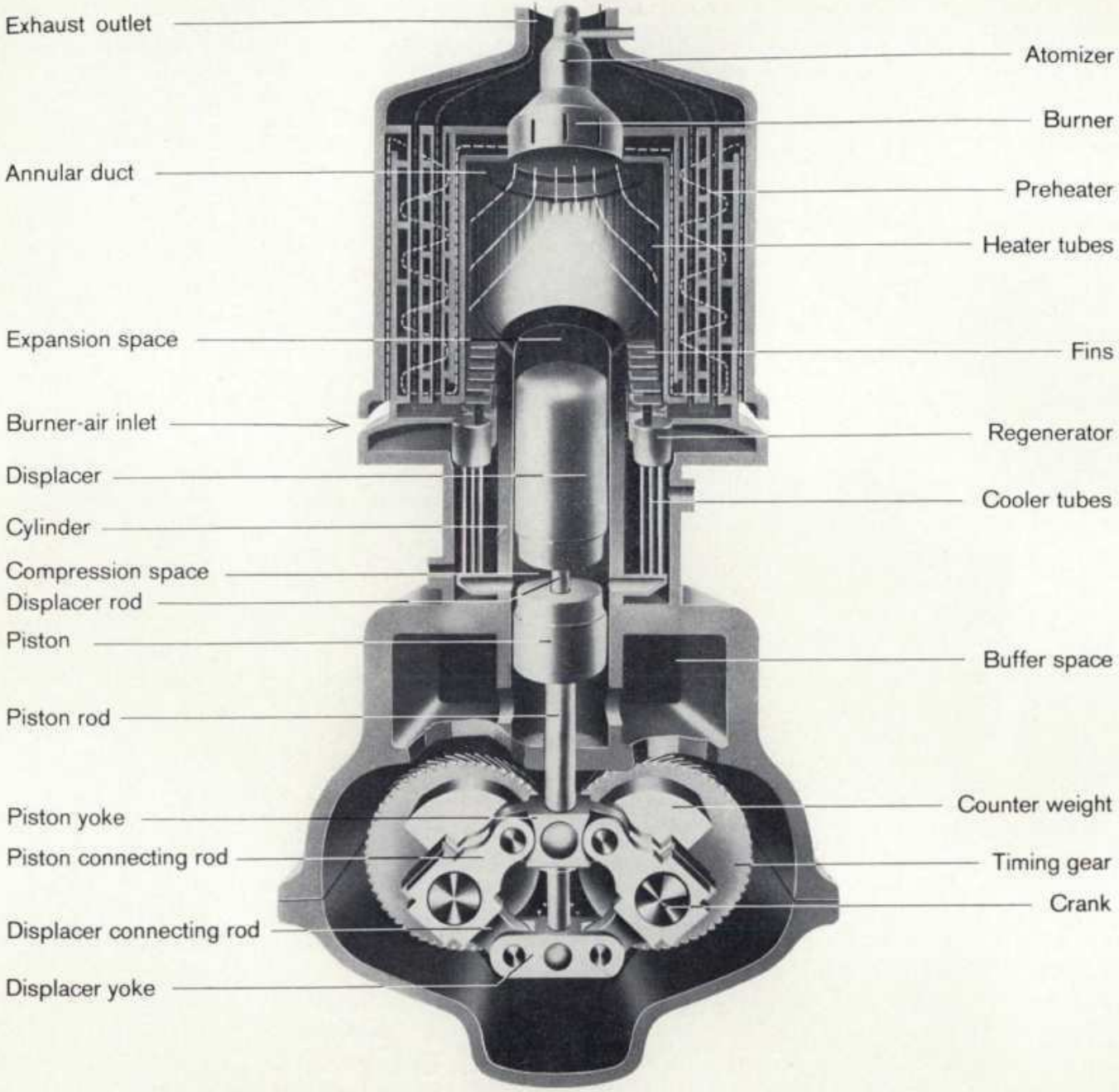


Fig. 5. Doorsnede van Philips stirlingmotor. In het midden ziet men de cilinder met de zuiger en de verdringer. Daaronder de krukkast met het ruitdrijfwerk, dat voor de juiste onderlinge beweging van zuiger en verdringer zorgt. Boven de cilinder het verhittingsgedeelte. De voor de brander bestemde lucht treedt binnen bij de pijl en doorloopt een door de uitlaatgassen verhit kanaal alvorens de vlam te bereiken. De uitlaatgassen ontsnappen aan de bovenzijde. Er zijn ook geheel andere wijzen van verhitting mogelijk.

Het reduceren van het NO_x-gehalte tot de waarden van het voorstel voor 1980 zal het moeilijkst zijn voor motoren met inwendige verbranding en is zelfs niet zonder problemen voor motoren met uitwendige verbranding. Bij de benzinemotor heeft men de aanpassing aan de eisen van 1970 en 1971 wat betreft C_xH_y en CO voornamelijk verkregen door afstelling van de motor voor gebruik van minder rijke mengsels; de temperatuur tijdens de verbranding stijgt dan, waardoor minder C_xH_y en CO gevormd wordt, maar meer NO_x.

De ontwikkeling van potentiële alternatieven worden door het U.S. Department of Health, Education and Welfare sterk gestimuleerd. Zo is er een programma opgesteld waarin de industrie wordt aangemoedigd om motoren te ontwikkelen die aan de strengste eisen aangaande uitlaatgassen kunnen voldoen en waarbij ook gelet wordt op geschiktheid voor massafabricage, prijs — althans bij produktie en masse — veiligheid, be-

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

trouwbaarheid en brandstofverbruik [5]. In 1975 hoopt men de keuze uit de mogelijkheden gemaakt te hebben, om deze al of niet met regeringssteun verder te ontwikkelen.

De uitlaatgassen van de stirlingmotor

De uitlaatgassen van de stirlingmotor (*fig. 5*) zijn relatief reeds zeer schoon bij gebruik van fossiele brandstoffen in een normale, zg. adiabatische brander. Door de continue verbranding van de brandstof in een ruimte omgeven door hete wanden, de vrije keuze van de luchtovermaat en de vrijheid in vormgeving van de brander, is de hoeveelheid onverbrande koolwaterstoffen nagenoeg te verwaarlozen en de hoeveelheid koolmonoxide zeer gering. Sterke voorverhitting van de verbrandingslucht leidt echter tot een hoge vlamtemperatuur, wat de vorming van de stikstofoxiden sterk bevordert. Door de combinatie van een korte verblijftijd in de brander, lagere piektemperaturen vergeleken met die van de motor met inwendige verbranding en een rustig verloop van de verbranding, is de hoeveelheid NO_x toch nog erg klein. Dat neemt echter niet weg dat dit op den duur een te grote post zou zijn indien er verder niets aan gedaan zou worden. Dank zij de uitwendige verhitting van de stirlingmotor kunnen veranderingen aan het verhittingssysteem aangebracht worden zonder het Stirling-systeem te beïnvloeden, dus zonder het rendement en het specifiek vermogen aan te tasten. Het huidige rendement van de motor wordt immers reeds verkregen met een verhitterwandtemperatuur van circa 700 °C, zodat de hoge „adiabatische" vlamtemperaturen van meer dan 2000 °C in principe niet nodig zijn (dit in tegenstelling met motoren met inwendige verbranding, waarin de hoogste temperatuur in de cilinder maatgevend is voor het rendement en het vermogen).

Het is vrij moeilijk de invloed van de vlamtemperatuur, op de hoeveelheid NO_x die gevormd wordt direct te meten, maar indirect is het wel mogelijk. Voor dit doel hebben wij een elektrische voorverhitter gebouwd voor een eencilindermotor van 90 pk met een normale adiabatische brander [6]. De hoeveelheid stikstofoxiden hebben wij gemeten als functie van de temperatuur van de branderlucht. De kromme in *fig. 6* toont aan dat het gehalte aan stikstofoxide sterk daalt als de temperatuur van de branderlucht daalt. Er wordt nu gewerkt aan branders die een lagere vlamtemperatuur hebben dan de adiabatische — de zg. suppressed-flame-temperature-branders — en die gebruikt worden in combinatie met warmtepijpen (Engels: heat-pipes; zie later) om de hoeveelheid NO_x verwaarloosbaar klein te maken. Een andere voor de stirlingmotor gemakkelijk toe te passen manier om de hoeveelheid stikstofoxiden te verminderen, is een deel van de rookgassen weer aan de verse branderlucht toe te voeren, het zg. recirculeren (*fig. 7*). Bij een goede menging geeft dit geen wezenlijke verandering van de hoeveelheid CO en C_xH_y.

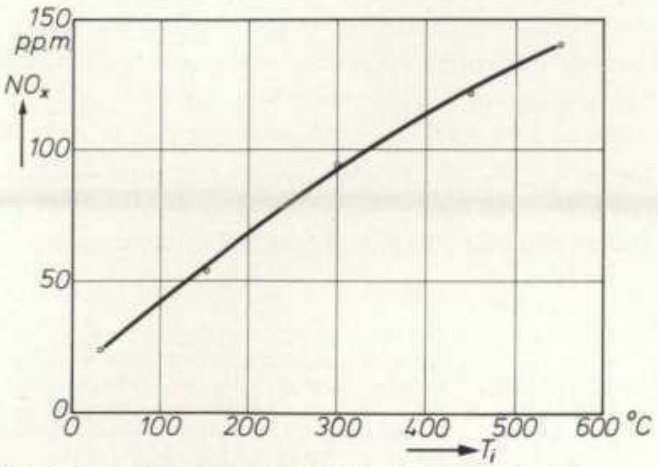


Fig. 6. De concentratie aan NO_x in de uitlaatgassen van een stirlingmotor, uitgezet tegen de temperatuur T_i van de verbrandingslucht.

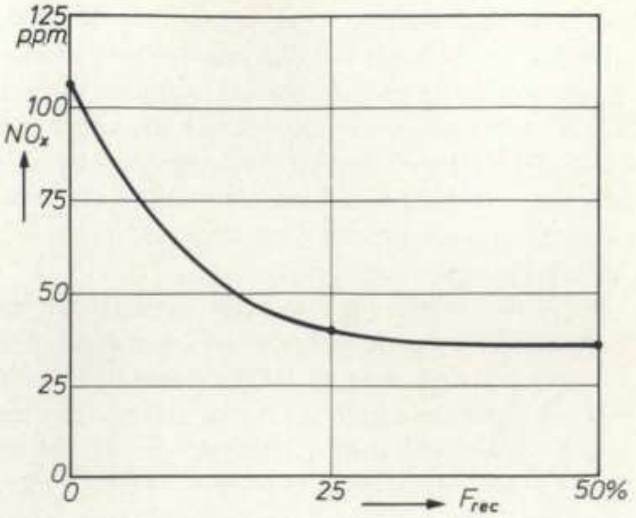


Fig. 7. Het effect van recirculatie op de hoeveelheid NO_x in de uitlaatgassen van een stirlingmotor. Langs de abscis is uitgezet de fractie F_{rec} van de uitlaatgassen die terugstroomt naar de inlaat. Stelt men F_{rec} in op 25% of meer, dan wordt het NO_x-gehalte driemaal zo klein.

In *tabel II* zijn de metingen aan de hierboven genoemde 90-pk-stirlingmotor weergegeven. Metingen die kort geleden aan een 10-pk-motor gedaan zijn, gaven overeenkomstige resultaten. Ook zijn gepubliceerde waarden van de gasturbine voor personenauto's, die eveneens bekend staat om de schone uitlaatgassen, in deze tabel opgenomen. Door de veel grotere luchtovermaat en het slechtere rendement van de gasturbine ten opzichte van de stirlingmotor, is de hoeveelheid uitlaatgas

[5] Federal Clean Car Incentive Program, Report HEW National Air Pollution Control Administration (NAPCA), okt. 1970, Attachment D.

[6] R. J. Meijer, The Philips Stirling engine, Ingenieur **81**, W 69-79, W 81-93, 1969 (nos. 18, 19).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

per pk van de gasturbine ongeveer achtmaal die van de stirlingmotor. Daarom verkrijgt men een betere vergelijking door uit te rekenen hoeveel milligram van een bepaald bestanddeel per seconde per pk uitgestoten wordt. *Tabel III* geeft de waarden die optreden bij volle belasting, waarbij stikstofoxide en onverbrande koolwaterstoffen respectievelijk verondersteld worden NO en C_6H_{14} te zijn.

Het is niet zonder meer mogelijk de hierboven genoemde emissie van de stirlingmotor uit te drukken in grammen per mijl, zoals de HEW-cyclus (die tot eind 1971 zal gelden) voorschrijft. In de federale test die daarna van kracht wordt, moet de emissie ook in grammen per mijl uitgedrukt worden. Hiervoor moet de motor in een auto ingebouwd zijn, of moet, indien men de motor op de proefbank wil houden, alles zo goed mogelijk gesimuleerd worden.

Enige schattingen zijn echter wel te geven: De eerste berekening, geldig voor de huidige HEW-cyclus (fig. 3), kunnen we uitvoeren dankzij de aanwijzingen dat C_xH_y, uitgedrukt in C_6H_{14}, voor een grote Amerikaanse auto overeenkomt met 180 p.p.m. [8]. Neemt men aan dat de stirlingmotor 40 % meer luchtovermaat heeft dan de benzinemotor en dat het rendement 1,4-maal die van de benzinemotor voor deze cyclus is, dan wordt het volgende resultaat verkregen:

C_xH_y	0,02 (g/mijl)
CO	1,00 (,,)
NO_{adiab}	0,8 (,,)
$NO_{25\%\ rec}$	0,16 (,,)

De nieuwe HEW-testcyclus (fig. 4), die vanaf begin 1972 zal gelden, is zeer ingewikkeld. Om een indruk te krijgen hoe de emissie van de stirlingmotor zou zijn wanneer deze geplaatst is in een auto van 1800 kg en precies deze nieuwe cyclus aflegt, zijn berekeningen gemaakt van het motorvermogen dat nodig is om transmissiewrijving, rol- en luchtweerstand te overwinnen en te accelereren en decelereren, waarbij de invloed van de vermogensregeling op het brandstofverbruik van de stirlingmotor in rekening gebracht is. *Fig. 8* geeft het gevraagde motorasvermogen weer dat bij een dergelijke cyclus optreedt, waarbij rekening is gehouden met een verlies van 20 % in de transmissie. Om hieruit de emissie per mijl te berekenen zijn de volgende veronderstellingen gemaakt: luchtovermaat gemiddeld 60 %; rendement stirlingmotor gemiddeld 30 % over gehele test; C_xH_y 2 p.p.m.; CO 300 p.p.m.; NO_{ad} 200 p.p.m.; $NO_{25\%\ rec}$ 40 p.p.m.

In *tabel IV* zijn de resultaten weergegeven, waarin ook de voorgestelde federale eisen voor 1980 nog eens zijn opgenomen alsmede de zg. NAPCA research goals voor 1980 (zie tabel I). Opvallend is dat beide geheel verschillende berekeningen, toegepast op geheel verschillende cycli, nagenoeg hetzelfde resultaat opleveren.

Tabel II. De gehaltes aan C_xH_y, CO en NO_x in de uitlaatgassen van een stirlingmotor. Luchtovermaat 40 %. Bij een der metingen is 25 % van de rookgassen teruggevoerd en gemengd met de verse branderlucht (zg. recirculatie; vgl. fig. 6). Ter vergelijking de waarden, gevonden aan een gasturbine voor personenauto's [7].

	stirlingmotor (p.p.m.)	gasturbine (p.p.m.)
C_xH_y	1-2	1,5
CO	70-300	200-500
NO_x (adiab. brander)	100-200	90-250
(met recirculatie)	ca. 40	—

Tabel III. Als tabel II, maar nu voor beide typen motor berekend per pk en uitgedrukt in mg/s.

	stirlingmotor	gasturbine
C_xH_y	$3\text{-}6 \times 10^{-3}$	36×10^{-3}
CO	0,1-0,3	2,0-3,6
NO_x (adiab.)	0,1-0,2	0,7-2,0
(recirc.)	0,04	

Tabel IV. Uitlaatgassen in grammen per mijl van een stirlingmotor, gebruikt als tractiemotor van een auto van 1800 kg die wordt onderworpen aan de test die thans in de Verenigde Staten van Amerika geldt alsmede aan de test die vanaf 1972 zal gelden (zie fig. 3 en 4 en tabel I). In de derde en vierde kolom de eisen voor 1980 en de NAPCA research goals.

	stirlingmotor		eisen 1980	NAPCA research goals 1980
	HEW 1970	HEW 1973		
C_xH_y	0,02	0,03	0,25	0,14
CO	1,00	1,4	4,7	6,2
NO_x (adiab.)	0,8	1,0	0,4	0,4
(recirc.)	0,16	0,20		

Uiteraard zijn in de getallen voor de stirlingmotor geen koude starts inbegrepen. Metingen hebben aangetoond dat hierdoor de waarden voor C_xH_y en CO iets groter zullen worden, maar de waarde voor NO vrijwel niet. Dit laatste is begrijpelijk, daar bij het opwarmen de gemiddelde vlamtemperatuur lager is dan bij volledig voorverhitte lucht (vgl. fig. 6).

Nu we gezien hebben dat de stirlingmotor in verband met de emissie van de uitlaatgassen zeer interessant is, komt de vraag naar voren in hoeverre de motor ook in andere opzichten technisch geschikt is voor tractie.

[7] Ontleend aan Study of unconventional thermal, mechanical, and nuclear low-pollution-potential power sources for urban vehicles, HEW/NAPCA, Raleigh N.C., okt. 1969.

[8] R. R. Allen en C. G. Gerhold, Catalytic converters for new and current (used) vehicles, voor de Fifth Technical Meeting West Coast Section of the NAPCA, okt. 1970.

[9] J. H. B. George, L. J. Stratton en R. G. Acton (Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Mass.), Prospects for electric vehicles, studei voor HEW/NAPCA, mei 1968.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

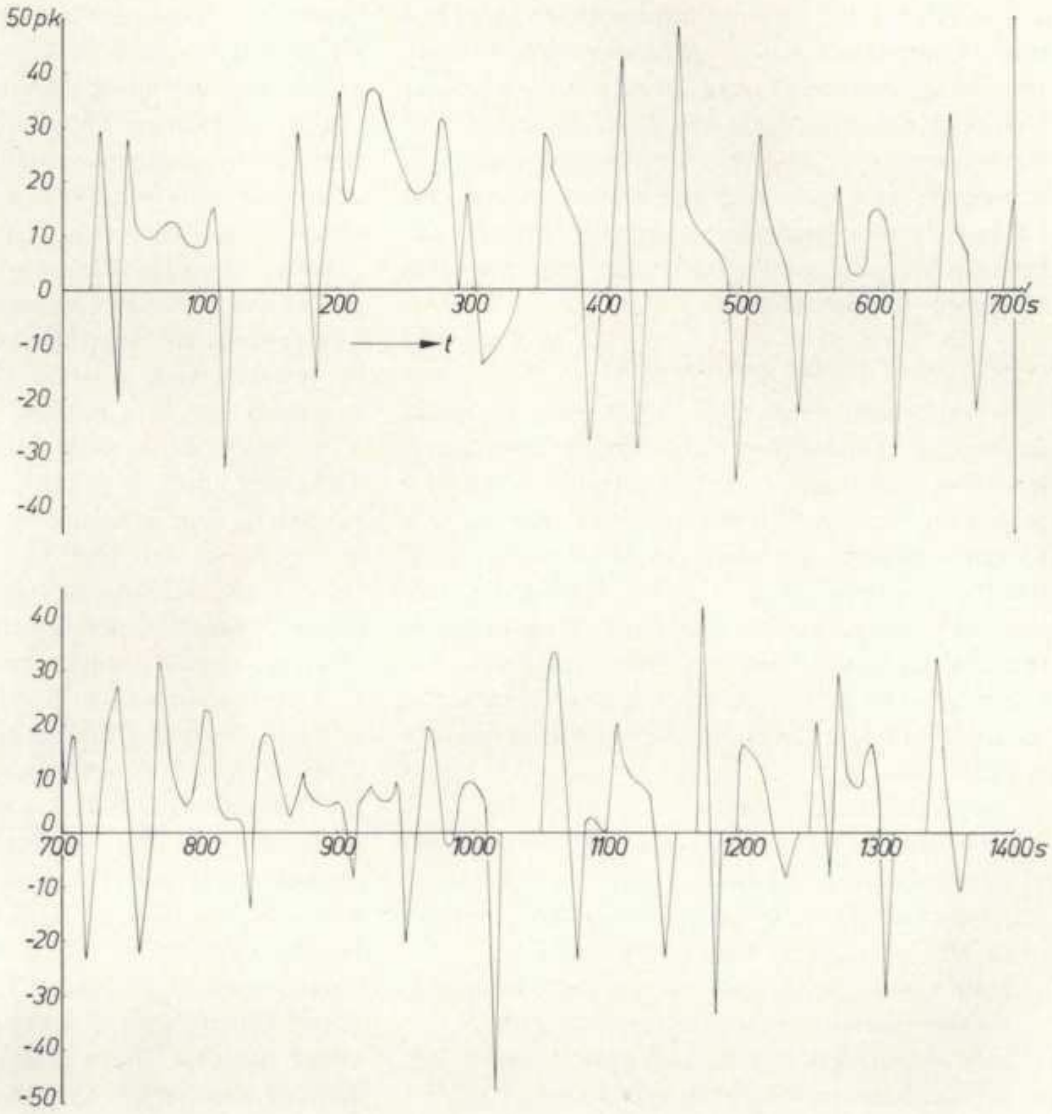


Fig. 8. Berekend verloop met de tijd van het motorvermogen van een auto van 1800 kg waarmee het programma van fig. 4 wordt uitgevoerd. Het rendement van de transmissie is op 80% gesteld.

De stirlingmotor als tractiemotor

Specifiek gewicht

Een van de belangrijkste technische gegevens van een tractiemotor is het specifiek gewicht, d.w.z. het gewicht per kW of pk asvermogen. In *fig. 9* is het specifiek gewicht voor Amerikaanse diesel- en benzinemotoren uitgezet tegen het asvermogen van de motor [9]. In deze figuur zijn ook lijnen van de stirlingmotor getrokken. De bovenste lijn *A* geeft de gemiddelde waarden weer van de huidige laboratoriummodellen. De drijfwerken van deze motoren zijn berekend voor een tweemaal zo hoge druk, dus voor een tweemaal zo groot asvermogen. De verhitters echter zijn nog niet vervaardigd van een materiaal dat voor deze hoge drukken voldoende kruipvast is. Na vervanging hiervan door een kruipvaster materiaal zal deze hogere druk in de motor ook voor langere looptijden gerealiseerd kunnen worden.

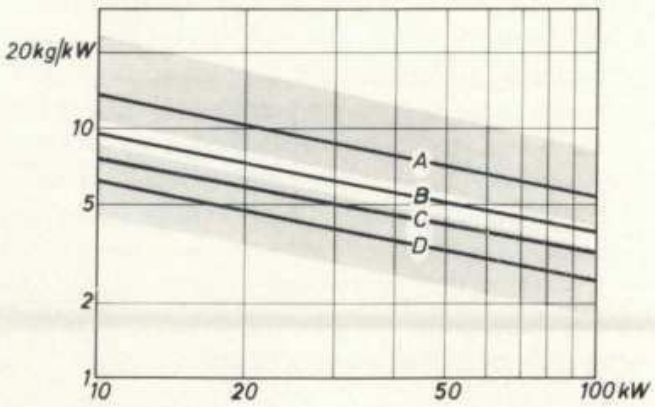


Fig. 9. Het specifiek gewicht van de stirlingmotor uitgezet tegen het asvermogen. *A* gemiddelde waarden voor de huidige laboratoriummodellen, met helium als werkgas. *B* idem met verhitters die de dubbele werkdruk toelaten. *C* als *B*, als het ontwerp gebaseerd wordt op de specifieke eisen voor auto's. *D* als *C*, voor een motor met waterstof als werkgas. De krommen zijn berekend voor een verhittertemperatuur van 750 °C en een koelwatertemperatuur van 55 °C. Voor benzinemotoren liggen dergelijke krommen in de onderste grijze strook, voor dieselmotoren in de bovenste.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

We verkrijgen dan voor de stirlingmotor lijn *B*. Een reductie van 20% wordt verwacht wanneer de motoren speciaal geconstrueerd worden voor auto's, waardoor voorlopig het gemiddelde specifieke gewicht dat de stirlingmotor over enige jaren zal hebben met goede benadering door lijn *C* weergegeven kan worden. (We zullen aanstonds laten zien dat er mogelijkheden zijn het specifiek gewicht nog verder te verlagen zonder het rendement te beïnvloeden.)

Rendement en overige eigenschappen

Het rendement van de motor hangt af van een aantal factoren, zoals specifiek gewicht, verhittertemperatuur, koelwatertemperatuur en configuratie. Lijn *C* van fig. 9 geldt voor motoren met een rendement van ca. 35% bij een verhittertemperatuur van 750 °C en een koelwatertemperatuur van 55 °C. Deze lijn ligt hoger of lager, al naarmate men de voorkeur geeft aan een groot specifiek vermogen òf aan een hoog rendement.

Verder noemen we in het kort nog de volgende eigenschappen van de stirlingmotor die van belang zijn voor een tractiemotor:

1. hoog rendement bij deellast;
2. geruisarm en trillingsvrij (20 tot 40 dB lager dan overeenkomstige dieselmotoren);
3. remmen op de motor mogelijk (negatief koppel tot ca. 80% van dat bij volle belasting);
4. grote variatie in toerental en zeer gunstige koppelkarakteristiek en tangentiaalkrachtdiagram;
5. geen olieverbruik en nagenoeg geen olieverversing;
6. betrouwbaar starten; lange levensduur;
7. snelle vermogensregeling;
8. relatieve ongevoeligheid voor stof uit de omgeving;
9. uitwendige verhitting (verhitting met andere middelen dan koolwaterstoffen mogelijk).

In al deze opzichten is de stirlingmotor zeer aantrekkelijk als tractiemotor. Hij heeft slechts één, zij het overkomelijk, nadeel: er moet door het koelwater relatief veel warmte worden afgevoerd bij een zo laag mogelijke temperatuur. Optimalisaties van het complete systeem (dus motor met alle hulpwerktuigen en radiateur) hebben uitgewezen dat de radiateur voor een omgevingstemperatuur van 20 °C een ongeveer 2,5-maal zo groot koelend vermogen moet hebben als die van een dieselmotor. Dit is weliswaar lastig, maar technisch toch geen al te groot probleem.

Verdere research en ontwikkeling

Bij het opsommen van de eigenschappen van de stirlingmotor is nog niet gezegd of het principieel een relatief dure of goedkope motor is. De stirlingmotor is zeker duurder dan de benzinemotor, maar daarbij moet worden opgemerkt dat de prijs niet de enige factor is die de bruikbaarheid van een motor bepaalt; ook de dieselmotor is duurder dan de benzinemotor. Als men verder bedenkt dat in de Verenigde Staten de bijdrage aan de luchtvervuiling door het verkeer ca. 60% bedraagt, waarvan ca. 85% veroorzaakt wordt door de benzinemotor van personenauto's, is het duidelijk dat de stirlingmotor ondanks zijn wat hogere prijs, bij personenauto's in een behoefte kan voorzien.

Welke middelen zijn er om de motor principieel goedkoper te maken? In bovenstaande beschouwing zijn we reeds als vanzelfsprekend ervan uitgegaan dat het research-model door „ontwikkeling" al goedkoper is gemaakt en meer geschikt voor fabricage in grote series of en masse, door kruipvaste en andere dure materialen alleen te gebruiken waar dat strikt noodzakelijk is, door handige en goedkope constructies toe te passen, enz. Het *principieel* goedkoper maken met behoud van de gunstige eigenschappen inclusief het goede rendement komt, indien men denkt aan massafabricage van de stirlingmotor, hoofdzakelijk neer op het verlagen van het specifiek gewicht, of, wat hetzelfde is, op het verhogen van het specifiek vermogen.

Het streven in de eerste jaren na de uitvinding van het ruitdrijfwerk was te komen tot een betrouwbare, robuuste motor met hoog rendement. Waar we aan dachten was vooral de toepassing in boten, en het specifiek gewicht van ongeveer 6,8 kg/kW (5 kg/pk) dat bereikt werd, kwam aardig overeen met dat van de conventionele bootmotoren. Toen het in de jaren zestig steeds duidelijker werd dat twee eigenschappen van de motor, namelijk schone uitlaatgassen en weinig lawaai, door de toenemende zorg betreffende milieuhygiëne belangrijker werden, werd meer aandacht besteed aan de toepasbaarheid van de stirlingmotor als tractiemotor, en daarom aan het specifiek vermogen.

In het algemeen zijn er drie mogelijkheden om het specifiek vermogen te verhogen: verhoging van de druk in de motor, verhoging van het toerental van de motor en verandering van de configuratie.

Het eerste punt kan hier buiten beschouwing blijven daar dit reeds is besproken in de beschouwing over het specifiek gewicht. Op de beide andere willen we hier nader ingaan.

Naar een hoger toerental; de „heat-pipe"

Indien een stirlingmotor van een bepaalde configuratie geoptimaliseerd wordt voor een relatief hoog toerental, zal het rendement lager zijn dan indien de motor geoptimaliseerd wordt voor een lager toerental. In *fig. 10* zien we hoe het maximaal te verkrijgen rendement van een eencilindermotor met ruitdrijfwerk die onder voorgeschreven omstandigheden 225 pk moet leveren, afhangt van het specifiek vermogen en het werkmedium. Uit het verloop van de krommen blijkt dat bij een zelfde werkmedium verhoging van het speci-

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

fiek vermogen gepaard gaat met verhoging van het toerental, maar ook met een verlaging van het rendement. Het gebruik van waterstof in plaats van helium geeft bij hetzelfde rendement een aanzienlijke verhoging van het specifiek vermogen. Een nadeel is echter dat waterstof langzaam door de hete verhitterdelen naar buiten diffundeert, en de motor er dus in zeer geringe mate lek voor is. Er zijn toepassingen waar dit zwaar weegt, maar voor tractiemotoren lijkt ons het kleine verlies van waterstof minder storend, zodat voor tractie waterstof zeker als werkmedium genomen kan worden. Hierdoor zal het specifiek gewicht nog eens ca. 30% dalen (fig. 9, lijn *D*).

Wanneer we vervolgens het Stirling-systeem nader bezien, blijkt dat de begrenzing van het toerental hoofdzakelijk komt door de vorm van de verhitter. Ondanks het grote temperatuurverschil tussen de vlamgassen en de verhitterpijpen is de warmteoverdracht van deze vlamgassen naar de pijpwand relatief slecht, waardoor een betrekkelijk groot pijpoppervlak nodig is. Grote, lange pijpen met een zo goed mogelijke warmteoverdracht aan de buitenkant stroken echter niet met een optimaal systeem aan de binnenkant. Vandaar een compromis in de vorm van de verhitterpijp van *fig. 11*. Om de warmteoverdracht van de vlamgassen te verbeteren, is de verhitter voorzien van een pijpenkooi, waaraan onderaan vinnen gesoldeerd zijn. Naarmate we het specifiek vermogen proberen op te voeren, wordt het compromis slechter. Veel beter zou het zijn, indien het Stirling-systeem geoptimaliseerd zou kunnen worden zonder met de warmteoverdracht aan de buitenkant rekening behoeven te houden. Dit kan indien we *indirecte* verhitting toepassen. Een zeer geschikt systeem hiervoor is de zg. warmtepijp (Engels: heat-pipe),

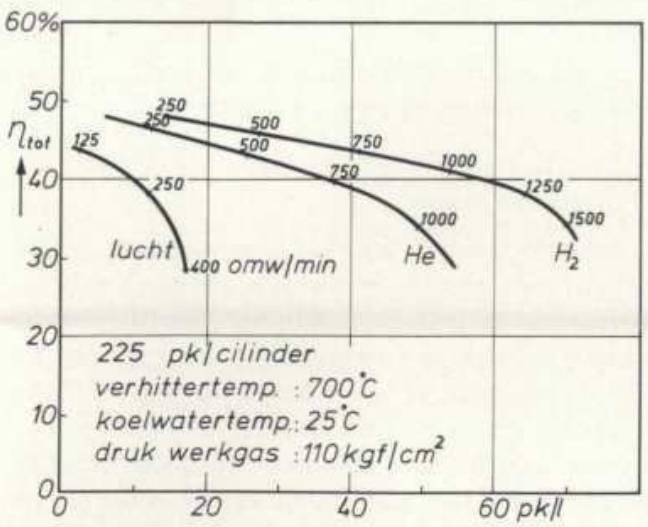


Fig. 10. Het maximumrendement η van een eencilinderstirlingmotor met ruitdrijfwerk die 225 pk levert, als functie van het specifiek vermogen (as-pk per liter cilinder inhoud) voor drie verschillende werkgassen. Een hoger specifiek vermogen eist een hoger toerental en leidt tot enige daling van η.

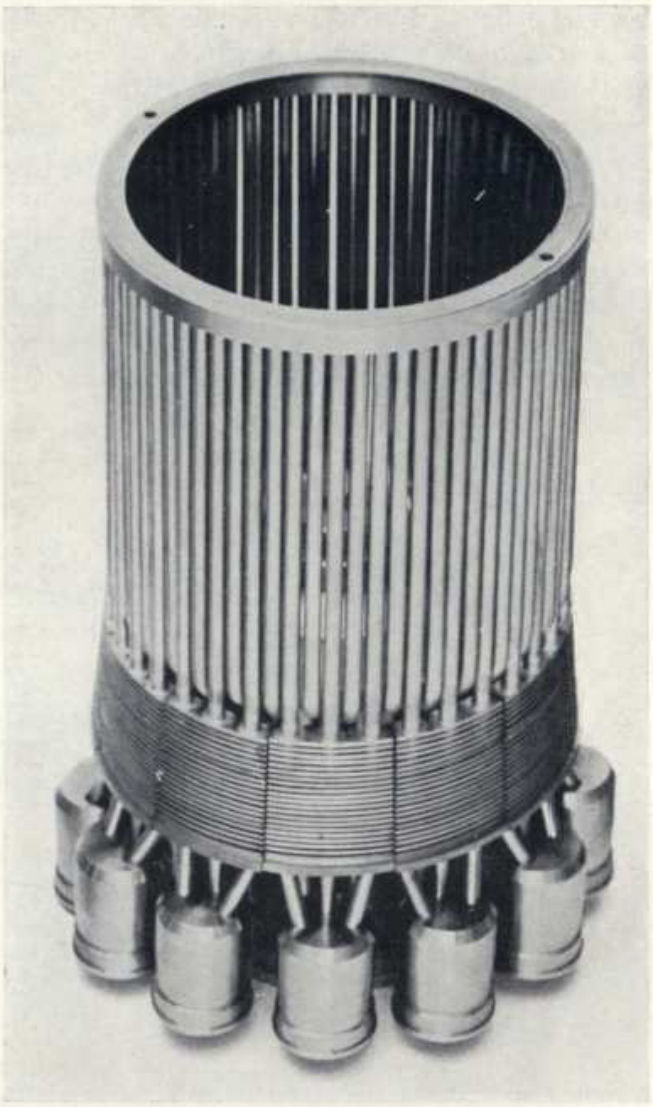


Fig. 11. Uitvoering van verhitter voor stirlingmotor die wordt verwarmd met vlamgassen. De regenerator is verdeeld over de cilindrische ruimten rondom het ondereind. Uit ieder daarvan komen drie pijpen, waarvan de verlenging de verticale opgaande pijpen van de verhitter vormen. Om en om met deze zijn de, uit het bovenaan gelegen verzamelkanaal komende, neergaande pijpen geplaatst, die in de expansieruimte van de motor uitmonden. Op het onderste deel van de aldus gevormde pijpenwand zijn vinnen aangebracht, waardoor de warmte van de verbrandingsgassen beter wordt overgedragen aan de pijpen.

waarmee grote hoeveelheden warmte van een groot oppervlak naar een klein oppervlak getransporteerd kunnen worden met een zeer klein temperatuurverschil.

In principe bestaat een warmtepijp uit een hermetisch gesloten ruimte waarvan de binnenkant van de wanden voorzien is van een poreus laagje materiaal, waarin een vloeistof door capillaire krachten geabsorbeerd is. De eenvoudigste vorm is een gesloten pijp (*fig. 12*). Voor de temperaturen die voor de motor van belang zijn (700 à 800 °C), is natrium een geschikt transportmedium. Bij plaatselijke verhitting van de wand verdampt het natrium gedeeltelijk, waarbij het een hoeveelheid

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

warmte opneemt. De damp stroomt door het ontstane drukverschil naar de koudere plaats en condenseert op de niet-verhitte oppervlakken, waarbij het de opgenomen warmte weer afgeeft. De gevormde vloeistof stroomt door capillaire krachten weer terug naar de verdampingsplaats. Zo ontstaat er een kringloop van natrium, achtereenvolgens in damp- en vloeistoffase, waarbij zeer grote hoeveelheden warmte bij bijzonder kleine temperatuurverschillen getransporteerd kunnen worden. In vergelijking met de warmtegeleiding van een koperen staaf van dezelfde afmetingen kan de warmtestroom door een warmtepijp bij hetzelfde temperatuurverschil duizenden malen groter zijn. Het warmtepijpsysteem kan in principe beschouwd worden als een transformator van de warmtestroomdichtheid. Men kan het bij voorbeeld over een groot oppervlak met een kleine warmtestroomdichtheid verhitten en de opgenomen hoeveelheid warmte met een grote warmtestroomdichtheid tijdens het condenseren weer afgeven aan een klein oppervlak. Deze eigenschap hebben we juist nodig bij de verhitting van de stirlingmotor, niet alleen bij de verhitting met vlamgassen, maar ook met andere warmtebronnen (zie titelfoto blz. 174) waarop hieronder teruggekomen wordt. Bij verhitting met tussenschakeling van een warmtepijp zijn de warmtebron en het Stirling-systeem gescheiden en heeft men vier belangrijke voordelen:

1. Daar warmteoverdracht d.m.v. condensatie van natrium als oneindig groot beschouwd kan worden ten opzichte van de temperatuurgeleiding door de wand van de pijpen en de warmteoverdracht aan het gas aan de binnenwand van de pijpen, kan het Stirling-systeem geoptimaliseerd worden voor constante buitenwandtemperatuur van de verhitterpijpen.
2. Daar de warmtepijp kan werken als transformator voor de warmtestroomdichtheid, kunnen we bij verhitting door vlamgassen het warmteoverdragend oppervlak aan deze zijde groot maken, zodat een hoog branderrendement verkregen kan worden.
3. Doordat het warmtepijp-systeem nagenoeg isotherm werkt, kan de gemiddelde pijptemperatuur door het ontbreken van „hot spots" bij gelijke levensduur 50 à 75 °C hoger zijn; hierdoor kunnen het vermogen en het rendement weer aanzienlijk stijgen.
4. Daar het warmteoverdragend oppervlak aan de vlamgaszijde „willekeurig" groot te maken is, kan met een kleiner temperatuurverschil tussen vlamgassen en wand gewerkt worden, met behoud van een hoog branderrendement; hierdoor is het in principe mogelijk met een lagere vlamtemperatuur te werken dan de „adiabatische" — de zg. „suppressed flame temperature" — waardoor het NO_x-gehalte drastisch verlaagd kan worden.

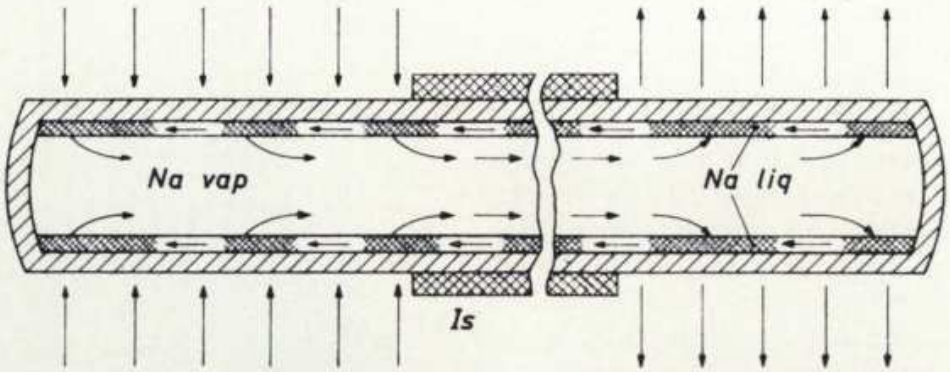


Fig. 12. Schematische doorsnede van een warmtepijp (Engels: heat-pipe). De binnenwand is bekleed met poreus materiaal waar zich natrium bevindt. Wordt een der uiteinden hier links verhit, dan smelt en verdampt het natrium. De damp (Na vap) stroomt naar het koude eind (rechts) en condenseert daar, waarbij warmte wordt afgegeven. Het gecondenseerde natrium (Na liq) stroomt door de poreuze laag terug naar het warme uiteinde. Tussen de plaatsen waar de buis warmte opneemt resp. afgeeft is hij omgeven door een isolerende laag *Is*.

In *fig. 13* ziet men een principetekening van een indirect verhittingssysteem met vlamgassen.

Andere configuraties

Na 1945 is er zeer intensief gewerkt aan de zg. dubbelwerkende heteluchtmotor. Schematisch is deze zeer eenvoudig, doordat verschillende functies van het Stirling-systeem gecombineerd werden (*fig. 14*). Een van de belangrijkste voordelen in die tijd was dat de krukkast niet onder druk behoefde te staan, zodat dit de weg opende naar grote motoren. Door geweldige moeilijkheden van allerlei aard, die we in die tijd niet konden oplossen, is dit zo veelbelovend lijkende type heteluchtmotor niet van de grond gekomen. Door de uitvinding van het ruitdrijfwerk in 1953 kon weer worden teruggegrepen naar het verdringerprincipe, waarbij

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de functies gescheiden zijn, met behoud van voordelen zoals drukloze krukkast en volledige balancering, maar zonder de compactheid van de dubbelwerkende motor. Indien we de balans opmaken van de problemen die we in die tijd niet konden oplossen, dan blijkt dat vele van deze problemen bij de ontwikkeling van de motor met ruitdrijfwerk nu wèl opgelost zijn. Hierdoor leek het

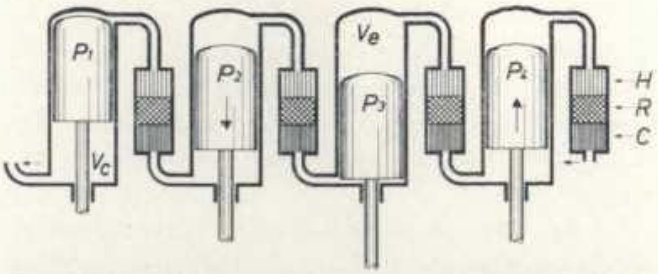


Fig. 14. Schematische voorstelling van een dubbelwerkende viercilinder-stirlingmotor. De symbolen hebben dezelfde betekenis als in fig. 13. Het open uiteinde rechts onder *C*, moet aangesloten gedacht worden op de opening links van de linkercilinder. Er zijn hier geen aparte zuigers en verdringers; de expansieruimte van de ene cilinder staat via *H*, *R* en *C* in verbinding met de compressieruimte van de volgende.

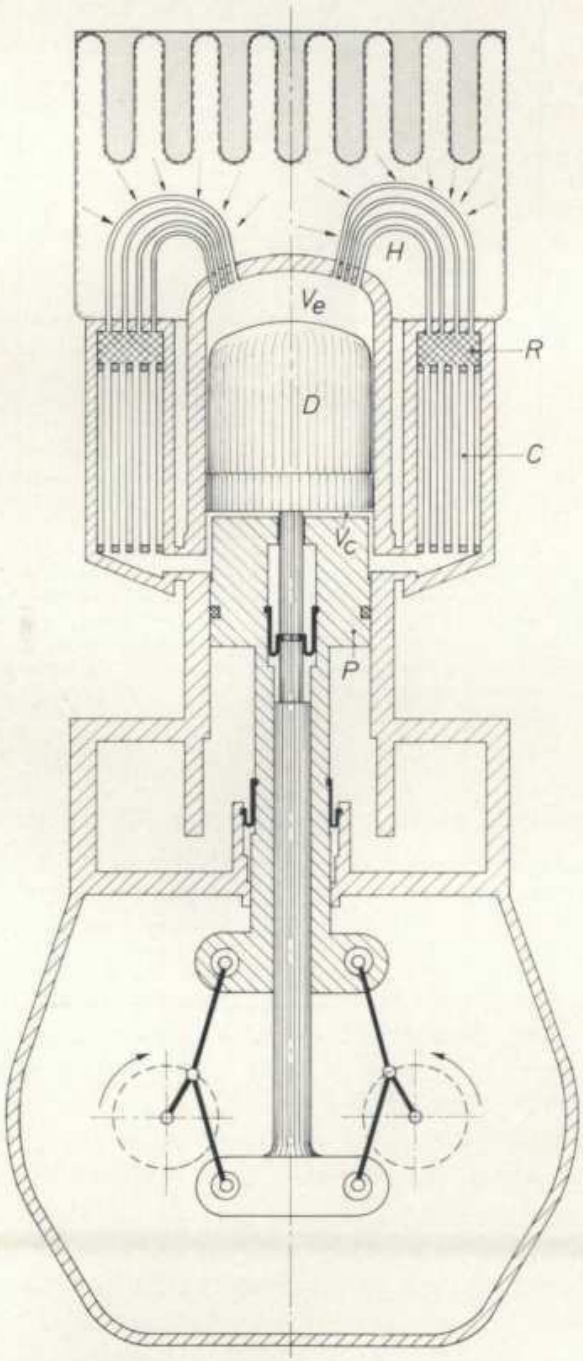


Fig. 13. Doorsnede van stirlingmotor met systeem voor indirecte verhitting met vlamgassen via een warmtepijp (bovenaan). De streeplijn, juist binnen de wand getekend, stelt de poreuze laag voor. De wand wordt verhit door vlamgassen die door de geschaduwde ruimten stromen. De natriumdamp condenseert op de pijpen *H* die de expansieruimte V_e van de motor verbinden met de regenerator *R*. Onder de regenerator de koeler *C*, die in verbinding staat met de compressieruimte V_c. *P* zuiger. *D* verdringer. In de krukkast (onder) is het ruitdrijfwerk geschetst.

gerechtvaardigd in verband met de wens naar hoger specifiek vermogen, voorzichtig weer aan het onderzoek van de dubbelwerkende stirlingmotor te beginnen. We noemen dit type de stirlingmotor van de „tweede generatie" (*fig. 15*). Het onderzoek is in volle gang en het eerste succes begint zich af te tekenen.

Om deze dubbelwerkende viercilindermotor te kunnen laten werken op één brander — dus direct met vlamgassen verhit —, zijn de vier verhitters tot één branderkooi verenigd, maar de systemen zijn, hoewel dat van buiten af niet zichtbaar is, toch volledig van elkaar gescheiden. Het is interessant aan de hand van onze berekeningen aan deze motor — die speciaal voor hoog specifiek vermogen geconstrueerd is — het effect van indirecte verhitting te demonstreren (*fig. 16*). Men ziet uit *fig. 17*, waarin het berekende indicateurrendement en -vermogen uitgezet zijn, het verschil tussen helium en waterstof als werkmedium in de motor en het verschil tussen directe en indirecte verhitting. De indirecte verhitting verschuift het maximumvermogen naar een hoger toerental en doet het vermogen enorm toenemen. Opgemerkt dient te worden dat het volume van de motor, afgezien van de voorverhitter, voor alle

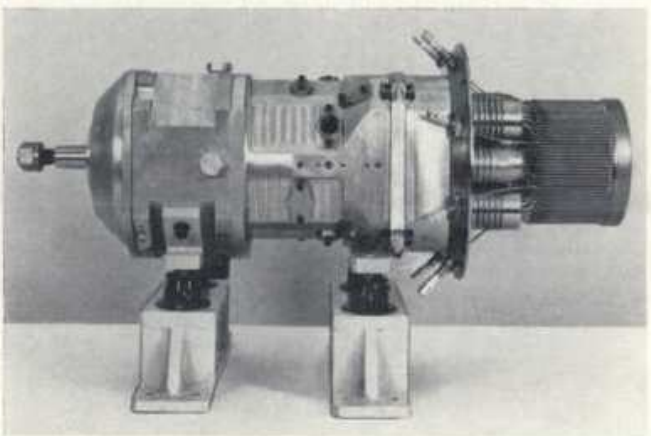


Fig. 15. Een stirlingmotor van de „tweede generatie". Dubbelwerkende viercilindermotor met directe verhitting; rechts de branderkooi.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

berekende krommen hetzelfde is. We verwachten op grond van metingen en berekeningen dat we met dit type motor voor deze vermogensklasse op den duur een specifiek gewicht verkrijgen van minder dan 1,5 kg/kW, ofwel 1,1 kg/pk, compleet met hulpwerktuigen.

Uit het voorgaande hebben we kunnen concluderen dat de stirlingmotor door zijn eigenschappen technisch gezien een zeer interessante motor voor tractiedoeleinden is, en dat er verder mogelijkheden zijn de principiële kostprijs door verhoging van het specifiek ver-

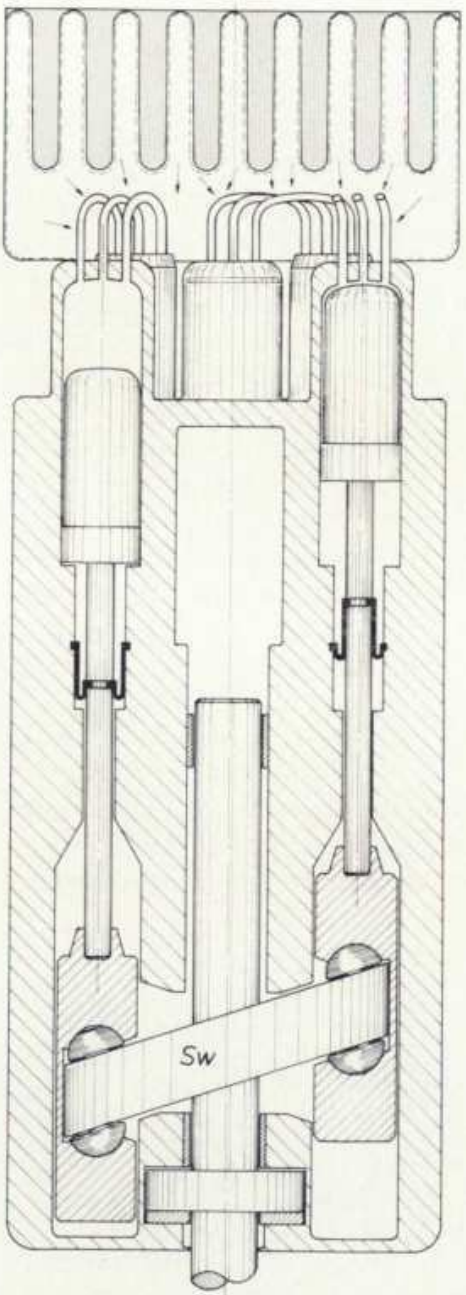


Fig. 16. Motor van het type van fig. 15, maar nu uitgerust met systeem voor indirecte verhitting (vgl. fig. 13). Men ziet twee van de vier cilinders in doorsnede en in het midden een derde in aanzicht. De wat meer naar boven uitstekende cilindrische ruimten daartussen bevatten de regenerators. De beweging van de zuigers wordt bij deze motoren op de hoofdas overgebracht via een „swash-plate" *Sw*.

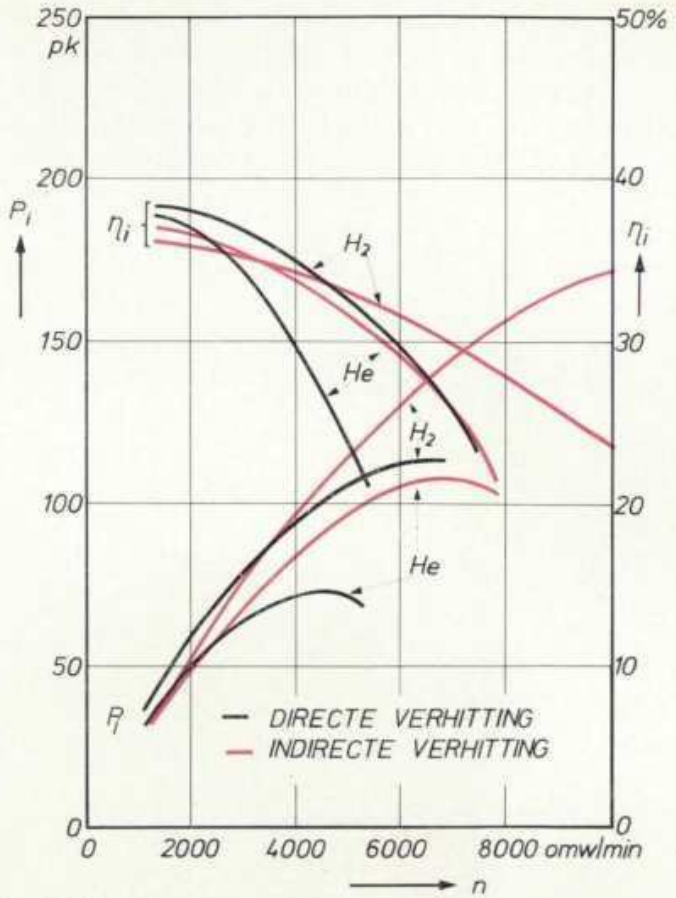


Fig. 17. Het indicateurvermogen P_i en -rendement η_i van de motor van fig. 15 als functie van het toerental n voor twee verschillende werkgassen. De zwarte lijnen gelden voor het geval de motor direct verhit wordt, de rode voor het geval van indirecte verhitting (fig. 16). Indirecte verhitting is veel gunstiger doordat een hoger toerental bereikt kan worden.

mogen sterk te verlagen. Toch kan men zich voorstellen dat een firma die zich op het gebied van de stirlingmotor wil begeven, vóórdat hij tot grote investeringen overgaat ook wil weten welke mogelijkheden de stirlingmotor biedt wanneer er, om welke reden dan ook, geen fossiele brandstoffen meer beschikbaar zijn.

Bij het opsommen van verscheidene eigenschappen van de motor hebben we de uitwendige verhitting genoemd, waardoor diverse verhittingssystemen mogelijk zijn. Hierbij moeten we niet alleen denken aan de verbranding van verschillende soorten vloeibare en gasvormige koolwaterstoffen, zoals ons demonstratiemodel (*fig. 18*) misschien wel eens ten onrechte suggereert, maar meer algemeen aan de eigenschap van de stirlingmotor dat het er niets toe doet van welke bron de warmte afkomstig is, mits deze maar geleverd wordt bij voldoend hoge temperatuur. Door „tussenkomst" van de warmtepijp is de toepasbaarheid van de stirlingmotor nog veel algemener geworden.

We willen hieronder twee wijzen van verwarmen bespreken die in de toekomst van belang kunnen zijn in verband met de luchtvervuiling of een mogelijke

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

schaarste aan fossiele brandstoffen: de verwarming door middel van een „warmteaccumulator" [10] en de verwarming door verbranding van waterstof, die is opgeslagen en wordt meegevoerd in een waterstof-accumulator.

Nieuwe warmtebronnen

De warmteaccumulator

Een warmteaccu bestaat in principe uit een vat, gevuld met een materiaal dat in staat is grote hoeveelheden warmte op te nemen en af te geven. Deze warmte kan bij voorbeeld via een warmtepijp-systeem worden afgegeven aan de verhitter van de motor. De meeste experimenten hebben we gedaan met lithiumfluoride als warmteaccumulatiemateriaal, zodat we onze beschouwingen beperken tot dit materiaal.

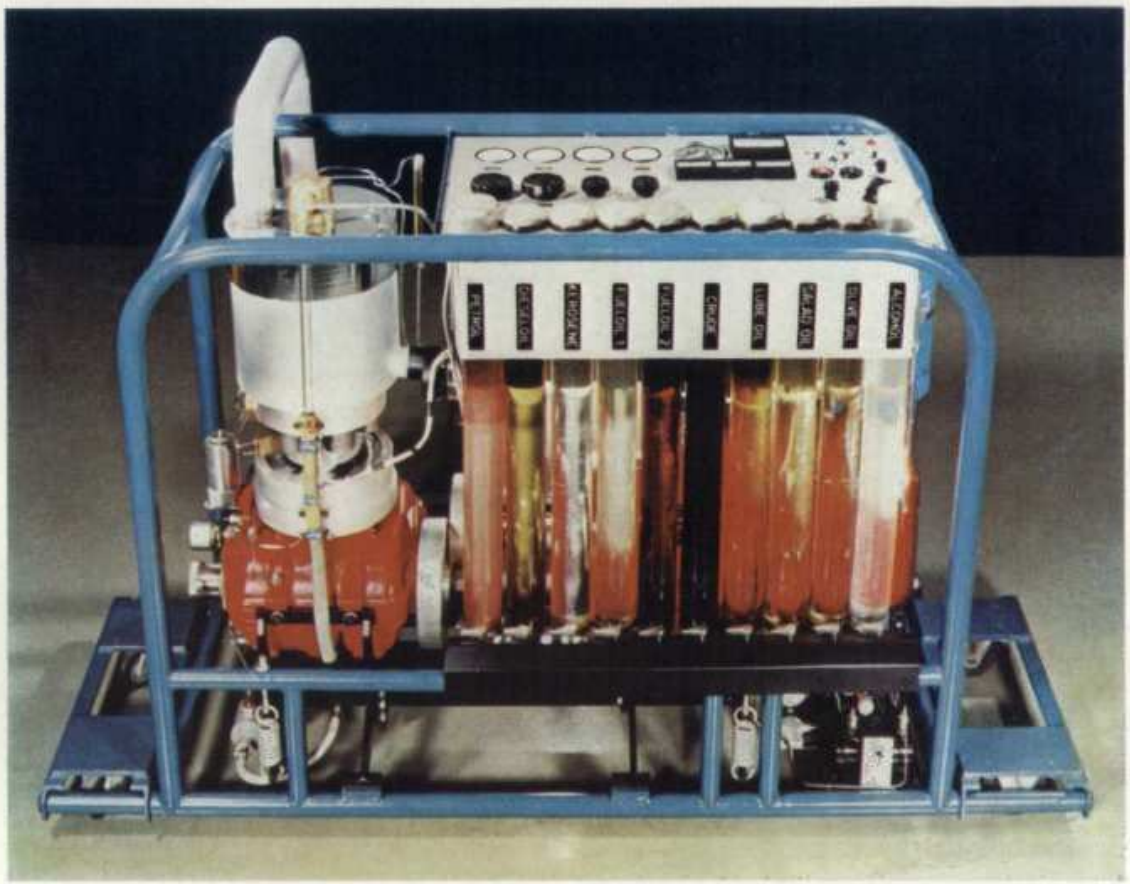


Fig. 18. Laboratoriummodel ter demonstratie dat een stirlingmotor kan lopen op warmte, verkregen uit allerlei brandstoffen, hier tien verschillende vloeistoffen.

Lithiumfluoride is een chemisch zeer stabiel zout met een smeltpunt van 848 °C, een stollingswarmte van 250 kcal/kg, tussen 550 °C en 848 °C een gemiddelde soortelijke warmte van 0,56 kcal/kg°C, bij 870 °C (vloeibaar) een soortelijke dichtheid van 1,79 g/cm³ en bij 700 °C (vast) een soortelijke dichtheid van 2,64 g/cm³. Wanneer we de stollingswarmte en de voelbare warmte, verkregen bij het afkoelen tot 550 °C, aan de motor toevoeren en we houden rekening met de bij die temperaturen behorende rendementen, dan verkrijgen we een specifieke *mechanische* energie van ca. 200 Wh per kilogram LiF (*fig. 19*). In het afgelopen decennium zijn in de Verenigde Staten ten behoeve van het gebruik van radio-isotopen in de ruimtevaart zg. superisolaties voor deze temperaturen ontwikkeld, die voor ons doel zeer goed te gebruiken zijn.

Om de warmte van de accu naar de motor te transporteren gebruiken we, zoals reeds vermeld, een warmtepijp-systeem, waarbij de eigenschap dat dit systeem ook een transformator is voor de warmtestroomdichtheid, ons goed van pas komt. De warmtegeleiding van het gestolde LiF is niet erg groot, zodat een betrekkelijk groot wandoppervlak nodig is met een kleine warmtestroomdichtheid om een niet te groot temperatuurverschil te hebben over het gestolde zout.

In *fig. 20* ziet men een schema van een experimentele opstelling van warmteaccu, warmtepijp-systeem en

[10] Zie ook R. J. Meijer, Mit Elektro-Wärmespeicher und Stirlingmotor — eine mechanische Antriebsalternative, Denkschrift 11/1969 Deutsche Forschungsgemeinschaft: Elektrospeicherfahrzeuge, blz. 143-164.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

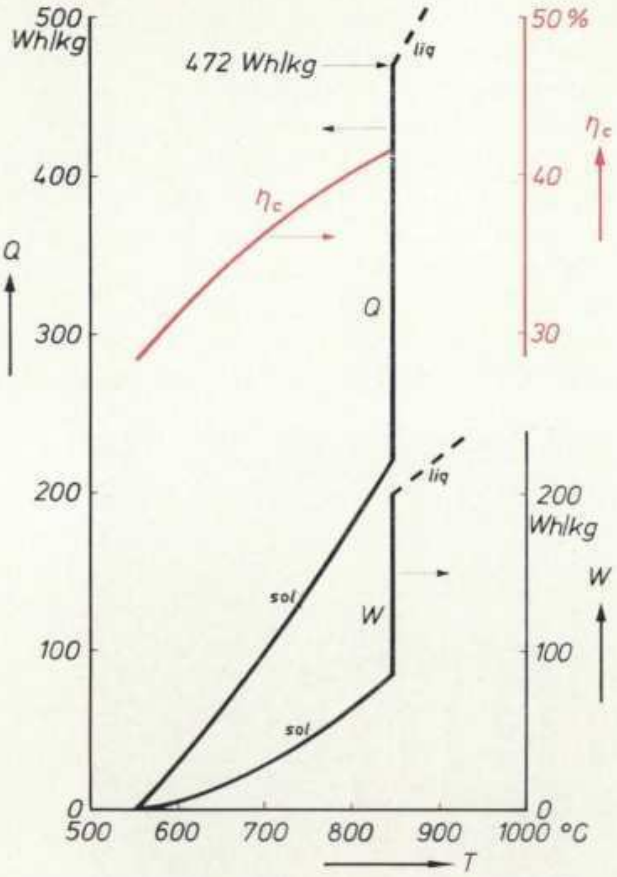


Fig. 19. De energie-inhoud Q per kg van lithiumfluoride als functie van de temperatuur T. Bij 848 °C smelt het zout en wordt een grote smeltwarmte opgenomen (verticaal gedeelte van de curve). Als alle LiF gesmolten is, bedraagt Q niet minder dan 472 Wh/kg. W is de mechanische energie die uit Q verkregen kan worden, η_c het omzettingsrendement.

stirlingmotor. De warmteaccu bestaat in feite uit een vat waarin zich kleine, dunwandige, geheel gesloten vaten bevinden, de zg. elementen. Deze elementen zijn gevuld met LiF, dat in vloeibare toestand het volume ervan bijna geheel in beslag neemt. Alleen een kleine ruimte boven het gesmolten zout wordt ingenomen door argon, waarvan de druk zodanig gekozen is, dat er steeds — dus ook bij het stollen — een kleine overdruk in het vat heerst, om „inknikken" te voorkomen. De stippellijnen in fig. 20 geven aan waar het poreuze materiaal zich bevindt dat de kleine hoeveelheid natrium die ook hier als warmtetransportmedium fungeert, terug doet vloeien naar de plaats van verdamping. De werking is als volgt: denk dat zich bij *A* een soort klep bevindt die de verbinding van accu naar motor afsluit. Indien warmte door middel van elektrische energie aan de bodem van het grote vat wordt toegevoerd, verdampt er natrium en dit condenseert op de elementen, waar het deze warmte weer afgeeft. Het vloeibare natrium wordt door de poreuze laag teruggevoerd naar de bodem. Dit kan doorgaan tot al het zout in de elementen gesmolten is, hetgeen zich verraadt door een snellere stijging van de temperatuur. Nu is de warmteaccu „geladen" en de toevoer van elektrische energie kan gestopt worden. Indien we de motor willen starten, openen we de „klep" bij *A*, waardoor de natriumdamp op de verhitterpijpen condenseert en de vloeistof weer teruggevoerd wordt naar het buitenoppervlak van de elementen, die nu het verdampende gedeelte van het warmtepijp-systeem zijn. In *fig. 21* ziet men een röntgenfoto van een proefelement, omgeven door een warmtepijp-systeem. Het zout bevindt zich hier in gestolde toestand. *Fig. 22* toont een proefopstelling van het complete systeem volgens het schema van fig. 20.

Het is interessant om op grond van onze huidige gegevens na te gaan hoe groot en zwaar auto's worden die zijn uitgevoerd met bovenstaand systeem, als men de eis stelt dat de accu slechts éénmaal per etmaal geladen wordt en er met de auto per dag even ver gereden kan worden als met de huidige auto met benzinemotor.

Om dit te kunnen berekenen hebben we de gegevens gebruikt van *tabel V*, ontleend aan de reeds eerder aangehaalde studie van Arthur D. Little, Inc. voor het U.S. Department of Health, Education and Welfare, voor zes typen auto's. In deze studie worden naast de

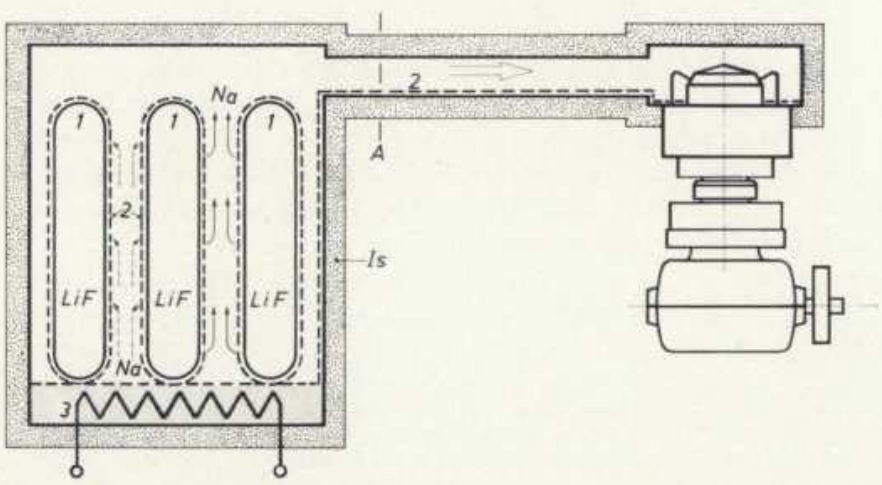


Fig. 20. Schematische voorstelling van stirlingmotor (rechts), via een warmtepijp verbonden met een warmteaccumulator (links). *1* Gesloten vaten, gevuld met LiF, de zg. elementen. *2* poreuze laag. *3* spiraal voor elektrische verwarming. *Is* isolatie. *A* „kraan" in de warmtepijp. Bij het „laden" wordt warmte toegevoerd tot alle LiF gesmolten is. Hierbij fungeert de wand van de elementen als het koude uiteinde van een warmtepijp en de omgeving van de spiraal als het warme. Als *A* open is, vormen de elementen het warme uiteinde van de pijp die de accu met de motor verbindt (getrokken pijltjes).

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 21. Röntgenfoto van één element van een warmteaccu, omgeven door een warmtepijp. Het zout (lichte partij) bevindt zich hier in de vaste fase.

huidige auto's ook zg. lichtgewichtauto's vermeld, waarvan men aanneemt dat ze in de toekomst geconstrueerd moeten kunnen worden.

De belangrijkste veronderstellingen die we voor deze berekeningen gemaakt hebben, zijn: het specifiek vermogen ligt in het gebied tussen de lijnen *C* en *D* van fig. 9; het warmteverlies in 24 uur is 12% van de maximale hoeveelheid opgeslagen warmte (de helft hiervan vloeit af door de isolatie en de rest door ondersteuningen en verbindingsstukken); de isolatiedikte van de superisolatie van middelmatige kwaliteit is berekend voor een „hotface"-temperatuur van 850 °C en een omgevingstemperatuur van 20 °C met $\lambda = 1{,}4.10^{-5}$ W cm/cm² °C; de warmteaccu heeft de vorm van een cilinder waarvan de lengte gelijk is aan de diameter. In *tabel VI* zijn de resultaten weergegeven. We zien dat het tractiesysteem met warmteaccu bij voorbeeld voor de grote Amerikaanse personenwagen 275 kg te zwaar wordt als de actieradius 322 km moet zijn. Voor een lichtgewicht-auto is het verschil slechts 45 kg. Voor vrijwel alle andere auto's kunnen we aan de eisen ruim voldoen. Zo heeft een „commuter car", indien hij voldoet aan het voorgeschreven gewicht, bijna een tweemaal zo grote actieradius als vereist wordt.

Het is duidelijk dat er, indien men in deze richting wil doorgaan, nog zeer veel ontwikkelingswerk moet gebeuren, maar principiële uitvindingen behoeven er niet meer gedaan te worden.

Naast de volledige afwezigheid van uitlaatgassen en een grote actieradius biedt de warmteaccu ook nog andere voordelen. Het „laden" kan relatief snel gebeuren, waardoor de „dip" in het nachtelijk stroomverbruik opgevuld kan worden; verder kan men ieder moment over het volle motorvermogen beschikken, ook indien de warmteaccu bijna uitgeput is; de temperatuur van de verhitterkop is dan lager, waardoor de motor door een hogere gasdruk overbelast mag worden. Ten slotte kan het interieur van de auto verwarmd worden, hetzij met koelwaterwarmte hetzij met warmte van de warmteaccu. Bij auto's met elektrische voortstuwing is dit laatste juist een bijzonder lastig probleem.

Waterstof als brandstof; de waterstofaccumulator

Hoewel het op het eerste gezicht vreemd lijkt waterstof als brandstof voor een motor te gebruiken, is het duidelijk dat men op een gegeven moment ook aan een „synthetische" brandstof kan gaan denken die bij vervaardiging en gebruik de natuurlijke kringloop op Aarde zo weinig mogelijk schade doet [11]. Afgezien van thermische vervuiling, die inherent is aan alle thermische krachtwerktuigen, is waterstof een zeer „schone" brandstof. Men heeft bij verbranding geen problemen met kooldioxide, koolmonoxide en onverbrande koolwaterstoffen, en als men de verbrandingsreactie bij niet

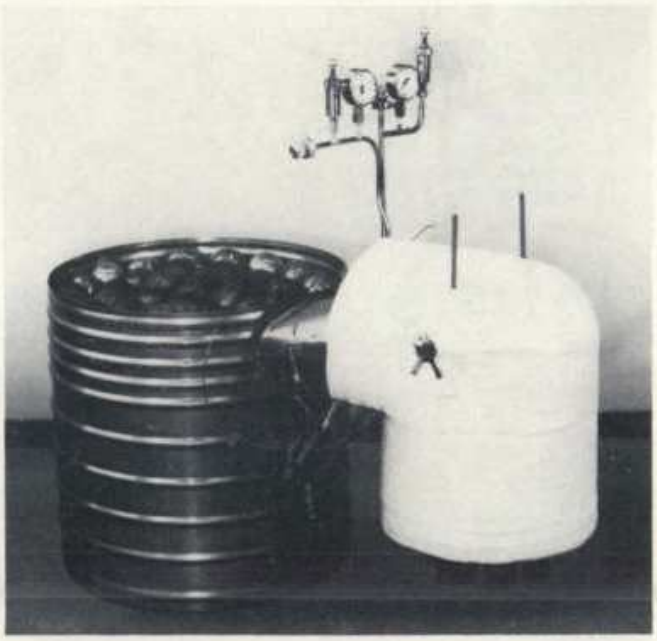


Fig. 22. Proefopstelling volgens fig. 20. Links, met afgenomen deksel, de warmteaccu. Men ziet de bovenste uiteinden van de elementen.

[11] L. Green, Jr., Energy needs versus environmental pollution: a reconciliation?, Science **156**, 1448-1450, 1967.
J. McHale, World energy resources in the future, Futures **1**, 4-13, 1968.
P. E. Glaser, Solar energy — an alternative source for power generation, Futures **1**, 304-313, 1969.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Tabel V. Enige gegevens betreffende de voornaamste thans in gebruik zijnde typen auto's [9].

		gezins-auto (family car)	Europese personen-auto (commuter car)	kleine bestel-wagen (utility car)	bestel-wagen (delivery van)	taxi (city taxi)	stads-bus (city bus)
1. actieradius	km	322	161	80	97	241	193
2. maximumsnelheid	km/h	161	129	105	90	124	88
3. acceleratie naar	km/h	97	97	48	64	64	48
in	s	15	30	10	20	15	15
4. maximaal motorvermogen	kW	70	22	12	49	36	135
5. gewicht	kg	1815	1135	770	3175	1815	13610
6. totaal beschikbaar gewicht voor nieuw tractiesysteem							
a. in conventionele auto	kg	565	340	225	635	565	2270
b. in lichtgewicht auto		795	475	320	910	795	3175
7. geleverde energie	kWh	100	20	8	45	75	300

Tabel VI. Berekende gegevens betreffende de auto's van tabel V indien deze zouden zijn uitgerust met een stirlingmotor met LiF-warmteaccumulator. Motor en accumulator zijn verbonden gedacht door een warmtepijp. De accumulator is cilindrisch verondersteld met de hoogte gelijk aan de diameter.

		gezins-auto	Europese pers. auto	kleine bestelw.	bestel-wagen	taxi	stads-bus
1. inhoud warmteaccumulatortank	dm^3	385	77	30	174	289	1154
2. diameter tank	cm	79	46	34	61	72	114
3. dikte superisolatie	cm	0,55	0,95	1,43	0,74	0,63	0,38
4. gewicht motor + radiateur	kg	216	82	49	162	124	379
5. gewicht heat-pipe-systeem	kg	32	12	7	24	19	57
6. gewicht warmtebuffermateriaal	kg	530	106	42	239	398	1590
7. gewicht container + isolatie	kg	62	21	12	37	52	130
8. totale gewicht tractiesysteem	kg	840	221	110	462	593	2156
9. beschikbaar gewicht tractiesysteem (tabel V)							
a. conventionele auto	kg	565	340	225	635	565	2270
b. lichtgewicht auto		795	475	320	910	795	3175
10. verschil in gewicht (post 8 — post 9)							
a. conventionele auto	kg	+275	−119	−115	−173	+28	−114
b. lichtgewicht auto		+45	−254	−210	−448	−202	−1019
11. gewenste actieradius	km	322	161	80	97	241	193
12. verkregen actieradius voor							
a. conventionele auto	km	172	311	248	157	226	206
b. lichtgewicht auto		298	480	387	252	350	308

Tabel VII. Berekende gegevens betreffende de auto's van tabel V indien deze zouden zijn uitgerust met een stirlingmotor die verwarmd wordt door verbranding van waterstof welke wordt meegevoerd in een $LaNi_5$-waterstofaccumulator.

		gezins-auto	Europese pers. auto	kleine bestelw.	bestel-wagen	taxi	stads-bus
1. inhoud waterstofaccumulatortank	dm^3	132	26,5	10,5	60	99	396
2. diameter tank	cm	44	25,5	19	33,5	40	63
3. lengte tank	cm	88	51	38	67	80	126
4. gewicht motor + radiateur	kg	250	95	57	183	141	435
5. gewicht $LaNi_5$	kg	288	98	39	219	366	1463
6. gewicht tank	kg	26	5	2	12	20	78
7. gewicht waterstof	kg	7,9	1,6	0,6	3,6	5,9	23,7
8. totale gewicht tractiesysteem	kg	772	200	99	418	533	2000
9. beschikbaar gewicht tractiesysteem							
a. conventionele auto	kg	565	340	225	635	565	2270
b. lichtgewicht auto		795	475	320	910	795	3175
10. verschil in gewicht (post 8 — post 9)							
a. conventionele auto	kg	+207	−140	−126	−217	−32	−270
b. lichtgewicht auto		−23	−275	−221	−492	−262	−1165
11. gewenste actieradius	km	322	161	80	97	241	193
12. verkregen actieradius voor							
a. conventionele auto	km	194	376	322	187	261	225
b. lichtgewicht auto		336	584	505	300	402	337

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

al te hoge temperatuur laat verlopen, is het eindprodukt alleen maar water. Voor de stirlingmotor geeft het gebruik van waterstof als brandstof geen enkel probleem.

De toepastbaarheid van waterstof als brandstof hangt hoofdzakelijk af van de oplossing van twee problemen. In de eerste plaats moet er een manier gevonden worden om waterstof op economische wijze uit *water* te produceren, waarbij men de gevormde zuurstof in de atmosfeer moet laten ontsnappen om de totale hoeveelheid zuurstof in de atmosfeer door deze toepassing niet te beïnvloeden. Natuurlijk is dit alleen nodig bij massaal gebruik van waterstof als brandstof. Onlangs is een zeer interessante chemische cyclus beschreven waarin water wordt ontleed in waterstof en zuurstof met een theoretisch rendement van 75%; het proces vereist toevoer van warmte bij een temperatuur van ten hoogste 750 °C. Wanneer men een dergelijke cyclus onder de knie heeft, zou men op grote schaal direct de warmte die bij kernreactie vrijkomt, kunnen gebruiken om waterstof te fabriceren. Het is duidelijk dat naarmate de werktemperaturen van de kernreactoren hoger worden, en er een bij die temperaturen geschikte chemische cyclus gevonden kan worden, het omzettingsrendement zal stijgen, en er dus nòg economischer waterstof geproduceerd zal kunnen worden.

Het tweede probleem dat moet worden opgelost is het vinden van een gemakkelijke manier om grote hoeveelheden waterstof op te slaan, zodat men voldoende brandstof in de auto mee kan nemen. Een recente ontdekking in ons laboratorium [13] kan een stap in deze richting betekenen. Men heeft gevonden dat sommige hexagonale intermetallische verbindingen van de samenstelling AB_5, waarin A een zeldzaam aardmetaal vertegenwoordigt en B nikkel of cobalt, gemakkelijk bij kamertemperatuur grote hoeveelheden waterstof kunnen absorberen en desorberen bij een druk van enige atmosferen. Bij 2,5 atm en kamertemperatuur is de dichtheid van waterstof in $LaNi_5$ bij voorbeeld bijna tweemaal zo hoog als die van vloeibare waterstof.

Zoals eerder voor de warmteaccu hebben we voor alle zes typen auto's, genoemd in tabel V, de afmetingen berekend die een tank, gevuld met $LaNi_5$ moet hebben om er bij 20 °C zoveel waterstof in te kunnen opslaan dat aan de eerder vermelde eisen wordt voldaan. We zijn daarbij uitgegaan van de volgende gegevens: 1. de hoeveelheid waterstof die geabsorbeerd en gedesorbeerd kan worden, is 180 cm^3/g $LaNi_5$; 2. de plateaudruk is ca. 2,5 atm; 3. het soortelijk gewicht is 8,5; 4. de reactiewarmte is 0,059 kcal/g $LaNi_5$; 5. de onderste verbrandingswaarde van waterstof is 2570 $kcal/nm^3$.

Bij het vullen van de tank met waterstof komt een grote hoeveelheid warmte vrij (ca. 13% van de verbrandingswarmte). We hebben verondersteld dat de tank in het koelwatersysteem is ingebouwd volgens *fig. 23*. Als de motor draait, zal er waterstof aan de tank onttrokken worden en willen afkoelen. Deze warmte wordt toegevoerd door het koelwater van de motor, nadat het de radiateur gepasseerd is. Hierdoor koelt het koelwater verder af (ca. 10% van de hoeveelheid warmte die onttrokken moet worden aan de koeler van de motor, kan gebruikt worden om het afkoelen

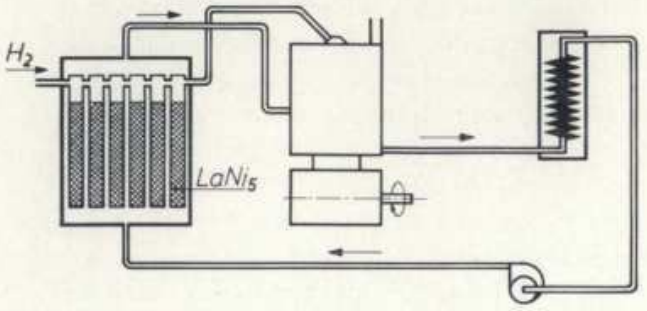


Fig. 23. Schematische voorstelling van stirlingmotor (midden) met $LaNi_5$-waterstofaccumulator (links). Daar er bij het laden van de accumulator warmte vrijkomt en er bij het ontladen warmte moet worden toegevoerd, is de tank opgenomen in het koelwatersysteem van de motor. Het water wordt door een pomp (rechts onder) achtereenvolgens door de accu, de motor en de radiateur (rechts boven) gestuwd.

van het $LaNi_5$ tegen te gaan). Verder hebben we voor de berekening van de $LaNi_5$-tank verondersteld dat het volume van de tank 2,3 maal zo groot is als het volume van $LaNi_5$, en wel omdat $LaNi_5$ in poedervorm aanwezig is, $LaNi_5$-poeder uitzet tijdens het opnemen van H_2 en ten slotte omdat ca. 15% van het volume nodig is voor de warmtewisselaar met het koelwater. Ten slotte is de tank cilindrisch verondersteld met een lengte van tweemaal de diameter. Het rendement van de stirlingmotor is op 38% gesteld. Met deze gegevens en veronderstellingen zijn de waarden van *tabel VII* verkregen.

We zien uit deze tabel dat het tractiesysteem met waterstofaccu, evenals dat met de warmteaccu, voor de grote Amerikaanse personenwagen met een actieradius van 322 km te zwaar wordt, en wel 207 kg. Aan de eisen voor een lichtgewichtauto kan het daarentegen gemakkelijk voldoen (—23 kg). Voor alle andere auto's kunnen we aan de eisen zelfs ruimschoots voldoen. Zo heeft een „commuter car" met een totaal gewicht van 1135 kg (tabel VII) een actieradius van 376 km, terwijl geëist wordt een actieradius van 161 km.

Hoewel bovenstaande beschouwingen over de toepassing van warmteaccu's en waterstofaccu's in diverse typen auto's tot nu toe puur theoretisch zijn, laten ze toch de grote toepasbaarheid van de stirlingmotor zien.

[12] G. de Beni en C. Marchetti, Waterstof, sleutel voor de energiemarkt, Euro-Spectra **9**, 46-50, 1970 (no. 2).

[13] J. H. N. van Vucht, F. A. Kuijpers en H. A. G. M. Bruning, Reversible room-temperature absorption of large quantities of hydrogen by intermetallic compounds, Philips Res. Repts. **25**, 133-140, 1970 (no. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Slotbeschouwing

Er zijn tekenen die erop wijzen dat de biosfeer door handelingen van het intelligentste wezen dat erin leeft, veranderingen ondergaat in ongunstige zin. De door de mens veroorzaakte ingrepen in de natuur voor zijn strijd om het bestaan en om zichzelf te plezieren, heeft grote gevolgen, zowel voor hemzelf als voor alles wat verder op Aarde leeft. Vooral de exponentiële toeneming van het verbruik van de grondstoffen — dat de Aarde verarmt — en van de produktie van afval — dat de Aarde vervuilt — gaan zorgen baren. Over lucht- en watervervuiling wordt tegenwoordig het meest gesproken. De lucht wordt, behalve door sommige industrieën, sterk vervuild door de uitlaatgassen van de automotoren. In de Verenigde Staten is de bijdrage aan luchtvervuiling door deze motoren meer dan de helft van het totaal, maar plaatselijk veel meer door de grote concentratie van auto's in en om de steden (Los Angeles ca. 80%). Bovendien geeft de dieselmotor in bussen en vrachtauto's een bijdrage aan een andere bron van hinder: lawaai, stank en roet.

Tegen de achtergrond van deze constatering is de stirlingmotor beschreven, die technisch gezien bovengenoemde krachtbronnen voor voertuigen goed zou kunnen vervangen en door zijn zeer bijzondere eigenschappen een grote bijdrage zou kunnen leveren aan de milieuhygiëne, niet alleen voor vandaag en morgen, zolang er fossiele brandstoffen zijn, maar ook voor overmorgen, wanneer deze niet meer beschikbaar zijn.

De introductie van de stirlingmotor in het *massale verkeer* zal echter uiterst moeilijk zijn uit economische overwegingen. Op een vraag die mij enige jaren geleden in de Verenigde Staten werd gesteld na een voordracht over de stirlingmotor: „What is wrong with the engine?", was mijn antwoord: „Het bestaan van andere motoren". Inderdaad, tegen louter staal, gietijzer of aluminium is moeilijk te concurreren. Daarom hebben we tot voor enige jaren dan ook hoofdzakelijk aan die toepassingen gedacht, waar op economische gronden de introductie van de stirlingmotor een reële kans van slagen zou hebben. Dit zijn de gebieden waar het open systeem, waarop de conventionele motor gebaseerd is, niet bruikbaar is of waar de bestrijding van de hinder die deze motoren geven, duur is.

Is er door de gewijzigde omstandigheden een kans dat de stirlingmotor — of een ander alternatief voor de benzinemotor — binnen redelijke tijd als krachtbron in personenauto's op zal treden? Dit hangt van verscheidene zaken en maatregelen af. Laten we weer de situatie in de Verenigde Staten nemen, omdat daar de plannen en maatregelen het verst gevorderd zijn.

De eerste vraag is of de wetgever de strenge eisen betreffende de uitlaatgassen, voorgesteld voor het jaar 1980, handhaaft.

De tweede vraag is of men de huidige benzinemotor zodanig verbeteren kan dat aan *alle* eisen (ook NO_x) wordt voldaan zonder dat dit tot grote prijsstijgingen aanleiding geeft. We doelen hiermee uiteraard niet alleen op de aanschaffingsprijs, maar ook op het eventueel duurdere onderhoud, op de kosten van overheidscontrole, op het grotere brandstofverbruik — vooral als men naar lagere compressieverhoudingen moet overgaan — en op de hogere prijs van loodvrije benzine.

Ten derde zal de nieuwe bepaling, die de maximale hoeveelheid uitlaatgassen *onafhankelijk* stelt van de grootte van de auto, zeker de introductie van kleine, lichte auto's met klein motorvermogen stimuleren. De vraag is hoever men hiermee moet en kan gaan.

De vierde vraag is in hoeverre we de reële kostprijs van de stirlingmotor door maatregelen die in het artikel besproken zijn, naar beneden brengen, zodat deze motor in het raamwerk van de beperkende bepalingen betreffende uitlaatgassen met andere gegadigden kan concurreren.

De laatste vraag is welke maatregelen de regeringen in het kader van de bestrijding van de milieuvervuiling nog meer zullen nemen: de introductie van een nieuw type motor — ook van de motor met de beste papieren — is nl. alleen maar mogelijk door bepaalde regeringsmaatregelen [14].

Ongeacht of nu de verbeterde benzinemotor dan wel een nieuwe krachtbron de toekomstige personenauto's zal voortstuwen, het is duidelijk dat de beperking van de schadelijke stoffen in de uitlaatgassen de gemeenschap altijd veel geld zal kosten. Daarbij achten steeds meer mensen in de Verenigde Staten een voortdurende frequente overheidscontrole op auto's met motoren die eerst schadelijke stoffen produceren en deze daarna met kunstmatige middelen weer moeten afbreken, praktisch onuitvoerbaar [15]. De gedachten gaan dan ook steeds meer uit naar krachtbronnen die van nature „schoon" zijn: voorkomen is beter dan genezen!

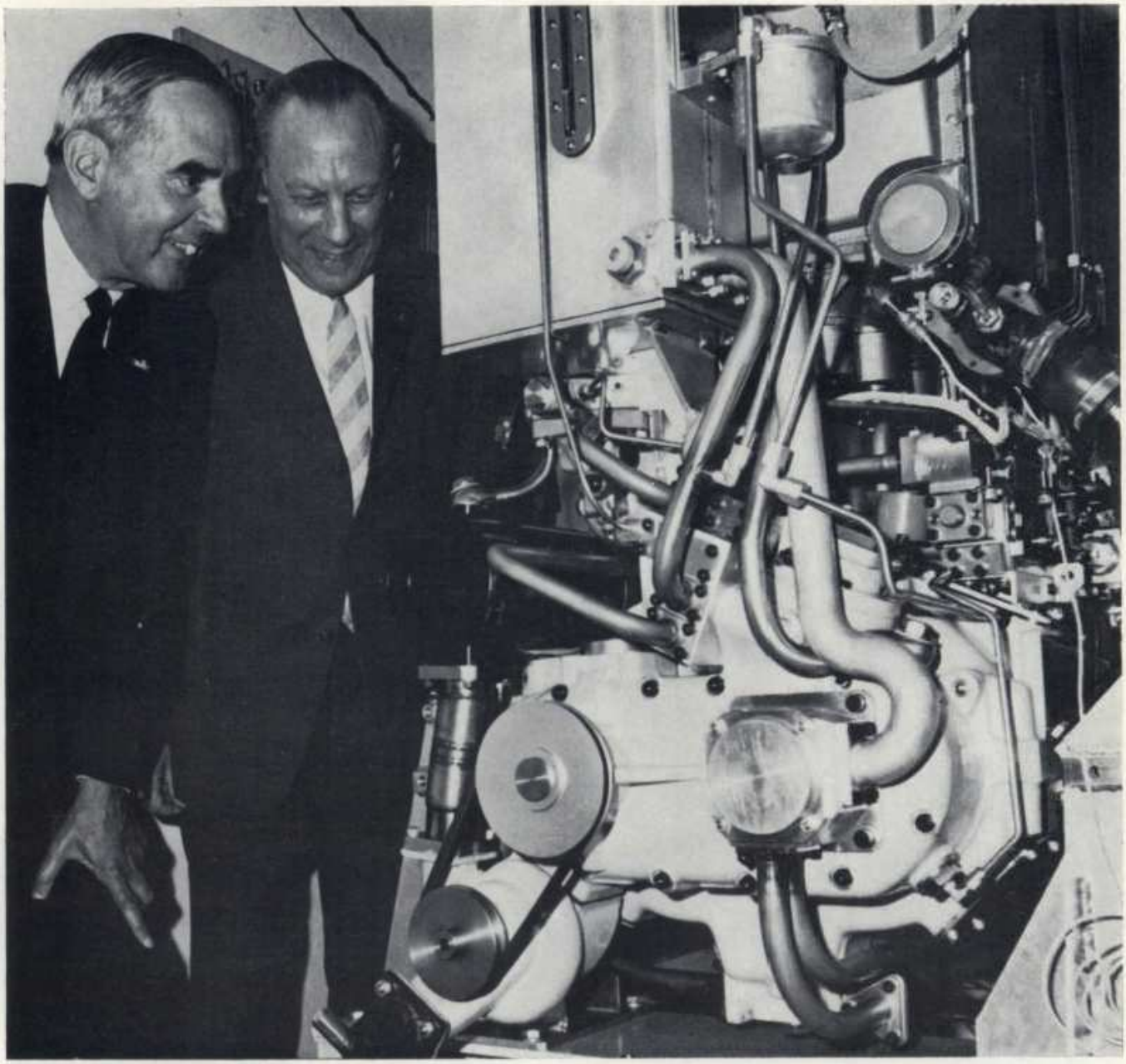
[14] D. D. Kummerfeld en G. Wilcox, Federal policy on auto air pollution control, research report van Center for Political Research, Washington D.C., april 1970.

[15] In de Verenigde Staten is met het nemen van dergelijke maatregelen reeds een begin gemaakt: om tot aan aanloop van massaproduktie te komen, mag de „winnaar" van het „Federal Clean Car Incentive Program" [5] volgens een bepaald tijdschema alle overheidsvoertuigen (enige honderdduizenden) tegen een redelijke vergoeding (ten hoogste tweemaal de normale prijs) vervangen door auto's die zijn uitgerust met de nieuwe krachtbron.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023



Begin juni 1970 is de eerste door de Produktiegroep Stirlingmotoren gebouwde stirlingmotor, in aanwezigheid van ir. Philips en enige andere leden van de Raad van Bestuur, officieel in werking gesteld door de oud-directeur van het Natuurkundig Laboratorium en pionier van de stirlingmotor bij Philips, ir. Rinia. De motor, die vier cilinders heeft en 100-200 pk kan leveren, zal gebruikt worden voor nader onderzoek van de toepassingsmogelijkheden van de stirlingmotor als zware tractiemotor. Aan ir. Rinia is op 9 januari 1971 door de Technische Hogeschool te Delft het eredoctoraat in de Technische Wetenschappen verleend, in het bijzonder voor zijn bijdrage tot belangrijke ontwikkelingen in de werktuigbouwkunde.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

De totstandkoming van een wonderlijk gebouw, zoals een Kunstenaar die zag. Op de volgende bladzijden een verslag van de geboorte van het idee erachter en van de niet minder fantastische inhoud van het bouwwerk.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

Het EVOLUON

Een permanente tentoonstelling van het Philips-bedrijf

J. F. Schouten

In 1961 vroeg ir. F. J. Philips zich, naar aanleiding van het aanstaande 75-jarige jubileum van Philips in 1966, het volgende af:
„Heeft het wel zin verder deel te nemen aan wereldtentoonstellingen, zoals wij dat in Brussel deden en b.v. in New York en Montreal zouden kunnen doen? Men doet dit omdat andere firma's het ook doen. De kosten zijn echter bijzonder hoog en de uitwerking is eclatant maar kortstondig. Gesteld nu dat wij niet zouden deelnemen, de daarvoor vereiste miljoenen zouden opsparen en deze, wellicht met een aanvullende investering, zouden gebruiken voor de inrichting van een permanente tentoonstelling over ons eigen bedrijf?"

Men kan niet zeggen dat de collega's van ir. Philips in de Raad van Bestuur allen even enthousiast waren over dit idee. De vereiste investeringen zouden moeten geschieden ten koste van industriële projecten en het indirecte profijt van een dergelijk ondernemen was moeilijk te evalueren.

Ten slotte werd echter besloten het plan toch te aanvaarden. Aan ir. Kalff, een vroegere Philips-medewerker, werd opgedragen om in samenwerking met het architectenbureau De Bever, het gebouw te ontwerpen. James Gardner RDI werd aangezocht de vormgeving van de tentoonstelling op zich te nemen en Jac. Kleiboer werd benoemd tot adviseur.

Het zoeken naar een „distinctieve vorm voor een gedistingeerde inhoud" leidde tot de conceptie van een gesloten ronde schaal die, om een illusie van zweven op te wekken, zou moeten worden gedragen door twaalf V-vormige zuilen. In de koepel werden drie, in hoogte en diameter toenemende, ringen geprojecteerd. Twee bordessen werden ontworpen, die vanuit de derde en hoogste ring naar binnen uitstaken. De ringen 3 en 2 besloegen ieder ongeveer een derde van het totale voor de expositie beschikbare vloeroppervlak, ring 1 een zesde en de twee bordessen samen eveneens een zesde.

Op de bijzonder interessante wijze van bouwen van de koepel, met geprefabriceerde betonelementen — 288 lamellen aan de onderzijde en 822 zeshoekige prisma's aan de bovenzijde —, gaan wij hier niet verder in. Men begon met de bouw in september 1964.

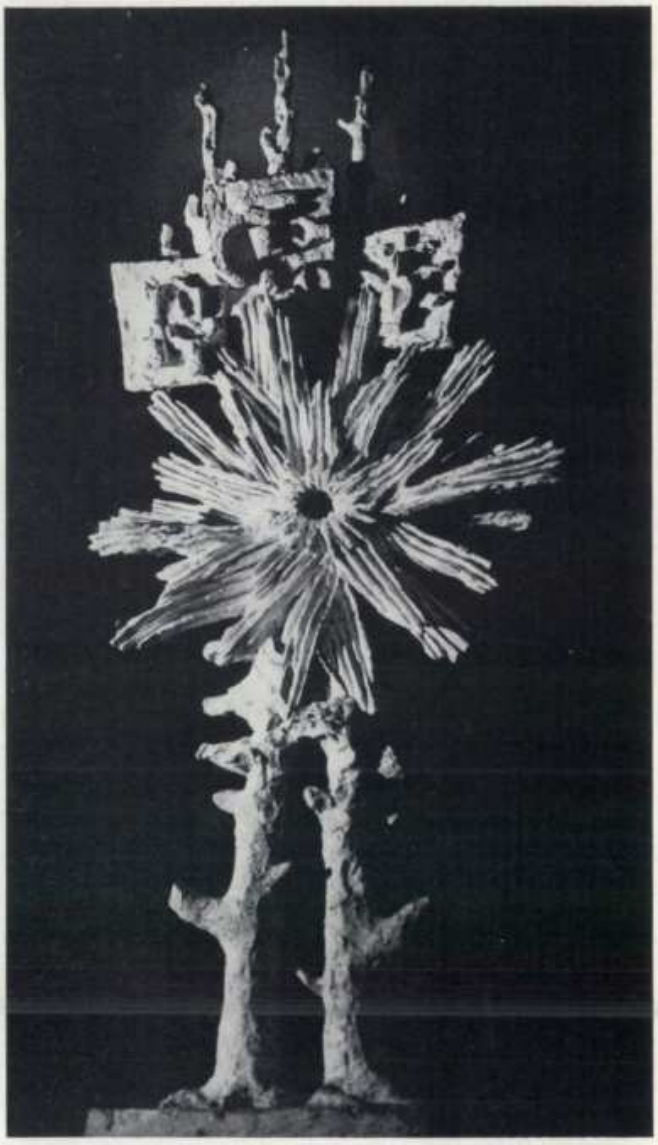


Foto Lucien Herné, Parijs

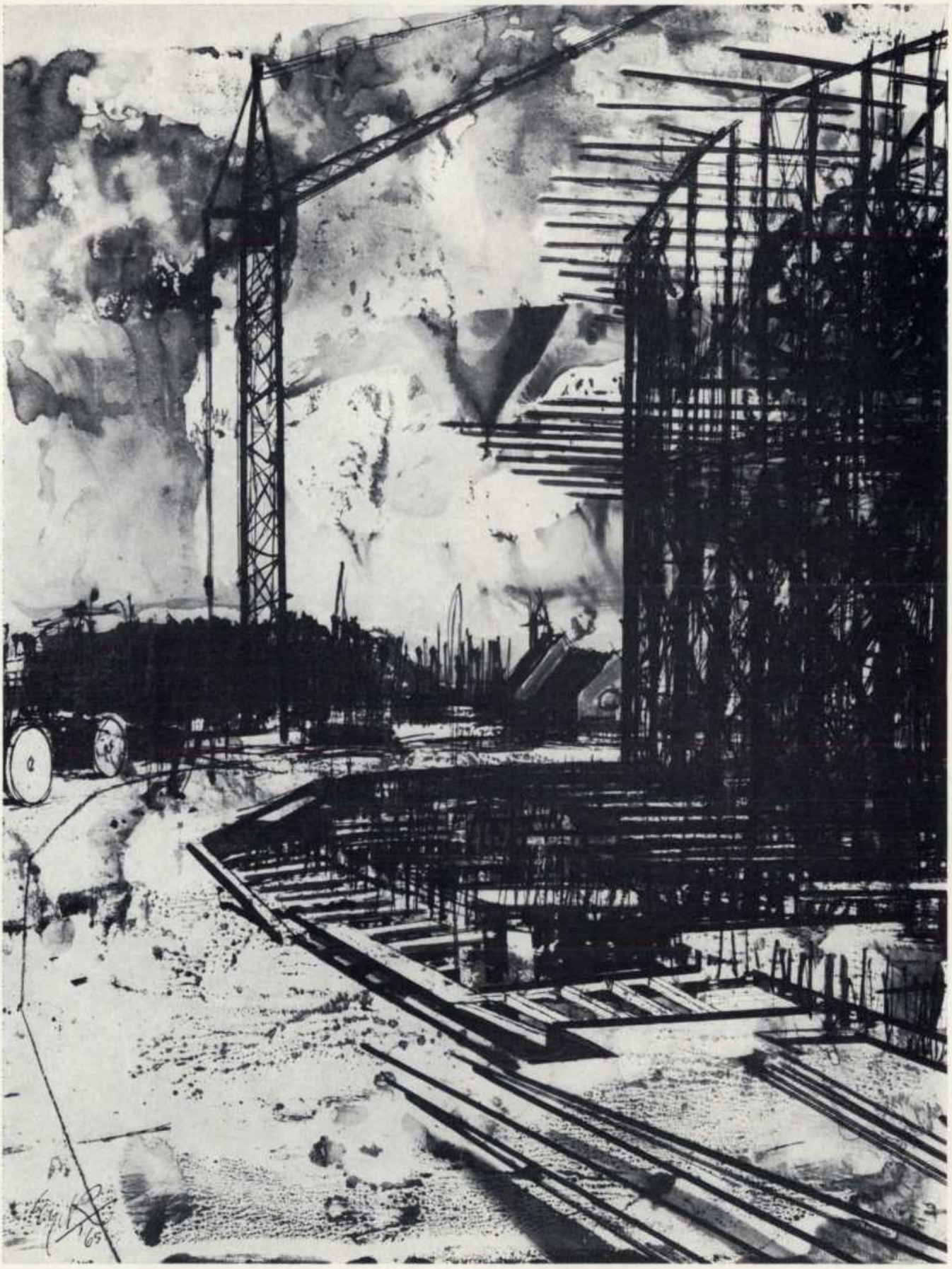
Brons van Ossip Zadkine „Eclatement de l'atome", als prijs voor zijn complete oeuvre, aan ir. Kalff aangeboden door het genootschap „Recherches et formes de demain" en thans opgesteld in het Evoluon. Behalve het hier afgebeelde, bevat het gebouw nog verscheidene andere kunstvoorwerpen die geïnspireerd zijn op een gebeuren in de natuur.

Dr. J. F. Schouten, wetenschappelijk adviseur van Philips' Natuurkundig Laboratorium en buitengewoon hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Eindhoven. Prof. Schouten is directeur van het Instituut voor Perceptieonderzoek (IPO) te Eindhoven, lid van het College van Adviseurs van het Evoluon en lid van de Raad van Advies van de Stichting „De Jonge Onderzoekers".

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

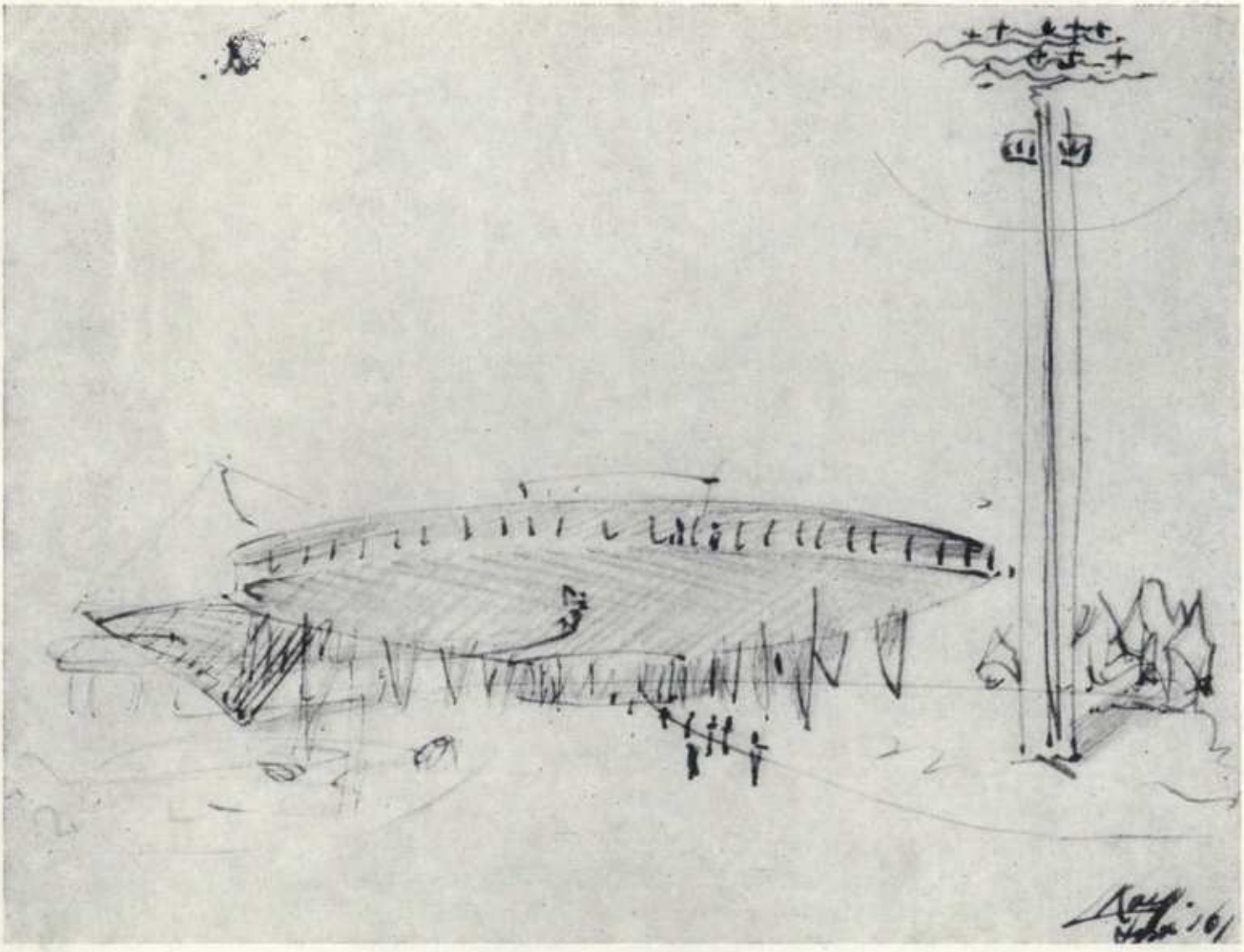
11/14/2023



Een der impressies, tijdens de bouw van het Evoluon op papier gezet door Charles Eyk te Maastricht; op blz. 194 een andere.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023



Boven: het eerste schetsontwerp van ir. Kalff. Op de volgende bladzijden nog enige foto's van de bouw.

De Wording van het centrale thema

Van 1961 af werden allerlei ideeën geopperd over de zaken die Philips in dit gebouw ten toon zou kunnen spreiden en over de wijze waarop deze tot motieven of thema's zouden zijn te verbinden.

De heer Kleiboer had al in 1961 de naam EVOLUON of EVOLEION voorgesteld, aansluitend bij het begrip evolutie. Dit begrip, aldus de heer Kleiboer, symboliseert groei in de tijd en groei in complexiteit, en zou een onderneming als Philips zeer goed kunnen karakteriseren. Bovendien vond hij, als ervaren tentoonstellingsman, het een enorm voordeel dat de voorgestelde namen nieuw waren en niet versleten, zoals varianten op de stammen „expo" en „rama". Op dit voorstel werd destijds niet ingegaan, omdat een aan de biologie ontleend begrip weinig aansprak bij hen die over een technische tentoonstelling dachten. Begin 1965 bleek echter dat deze naam zich bijzonder zou lenen als vorm voor een inhoud die de industriële evolutie als leidend thema zou hebben.

Uit de laatste gedachte ontstond een memorandum, dat later als „werkboekje" de algemene richtlijnen voor de te ontwerpen tentoonstelling uitstippelde. Wij laten de meest essentiële paragrafen van dit boekje, dat in juli 1965 werd uitgegeven, nu vrijwel ongewijzigd volgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

WAT DE TENTOONSTELLING NIET MOET ZIJN

Niet een toonkamer van produkten van de Hoofdindustriegroepen. Dit trekt te weinig blijvende belangstelling. Bovendien heeft menige hoofdindustriegroep zelf een betere toonkamer dan zij hier als haar aandeel in het totale oppervlak van ca. 5000 m² zou kunnen krijgen.

Niet een soort Science Museum. Ook dit trekt een te beperkte belangstelling. Bovendien is het te weinig kenschetsend voor de industrie die haar inricht.

Geen overmaat aan techniek, ook niet in de vorm van mechanisering en automatisering. De bezoeker zou zich in dit geval na het bezoek klein en onmachtig voelen. Aan de angst voor de broodroof door de robot zou voedsel worden gegeven, temeer wanneer er een teruggang in de conjunctuur zou plaatsvinden. Bovendien beschouwen wij dit als een valse en onevenwichtige voorstelling van wat de techniek in wezen voor de mens betekent.

Ten slotte moet de tentoonstelling niet van ons, Philips, uit denken, maar van de bezoeker uit. Het is duidelijk dat het uitgestalde op Philips betrekking heeft, maar de belangstelling van de bezoeker wordt slechts gewekt en onderhouden, wanneer het aan diens belangstelling en weetgierigheid appelleert.

DE EVOLUTIEGEDACHTE

De mens heeft er steeds naar gestreefd om de materie aan zich dienstbaar te maken en om met andere mensen bestendige organisaties te vormen.

Omtrent de eeuwwisseling was er in de reeds duidelijk industriële maatschappij een situatie ontstaan waarbij vele mensen, naar onze huidige maatstaven, als *producent* onvoorstelbaar lang, zwaar en ongezond moesten werken, terwijl hen als *consument* (voedsel, kleding, behuizing, medische verzorging, scholing, ontspanning enz.) onvoorstelbaar weinig ten deel viel.

De sleutel tot de enorme verbetering in deze eeuw in de westerse maatschappij, zowel ten aanzien van de werkomstandigheden als ten aanzien van het gemiddeld consumptiepakket, is gegeven door de enorme vooruitgang van het industriële proces. Door rationalisering met behulp van *mechanisering* en *automatisering* werd de produktie per werknemer geweldig verhoogd, terwijl tevens de zo gewenste *humanisering* van de menselijke arbeid (werktijden, werkomstandigheden, sociale voorzieningen enz.) economisch mogelijk werd. In het consumptieve vlak werd de vroegere luxe van de enkeling tot vanzelfsprekend gemeengoed van de gehele bevolking.

Men noemt de mechanisering dikwijls de eerste, de automatisering de tweede industriële revolutie. Men dient beide echter, te zamen met de humanisering van de menselijke arbeid, mits evenwichtig ontplooiend, te zien als een *industriële evolutie.*

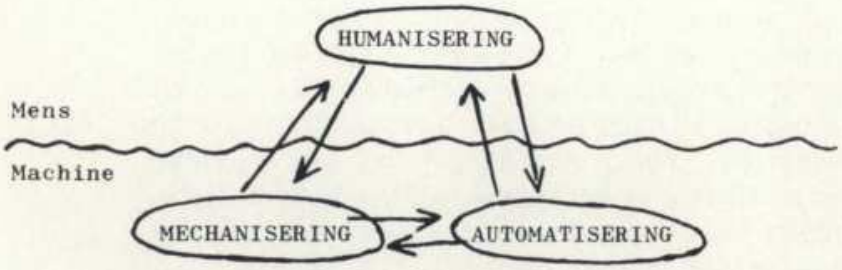
Aldus redenerend geven wij ons niet over aan een goedkoop optimisme, immers zowel een té snelle invoering van mechanisering en automatisering van de zijde van de werkgever, als een té abrupte eis tot verdere humanisering van de zijde van de werknemer, zou het evenwicht verstoren en de evolutie in een revolutie doen ontaarden.

Wij kunnen ook spreken van de *evolutie van de mens door de op beheerste wijze door hemzelf voortgebrachte techniek.*

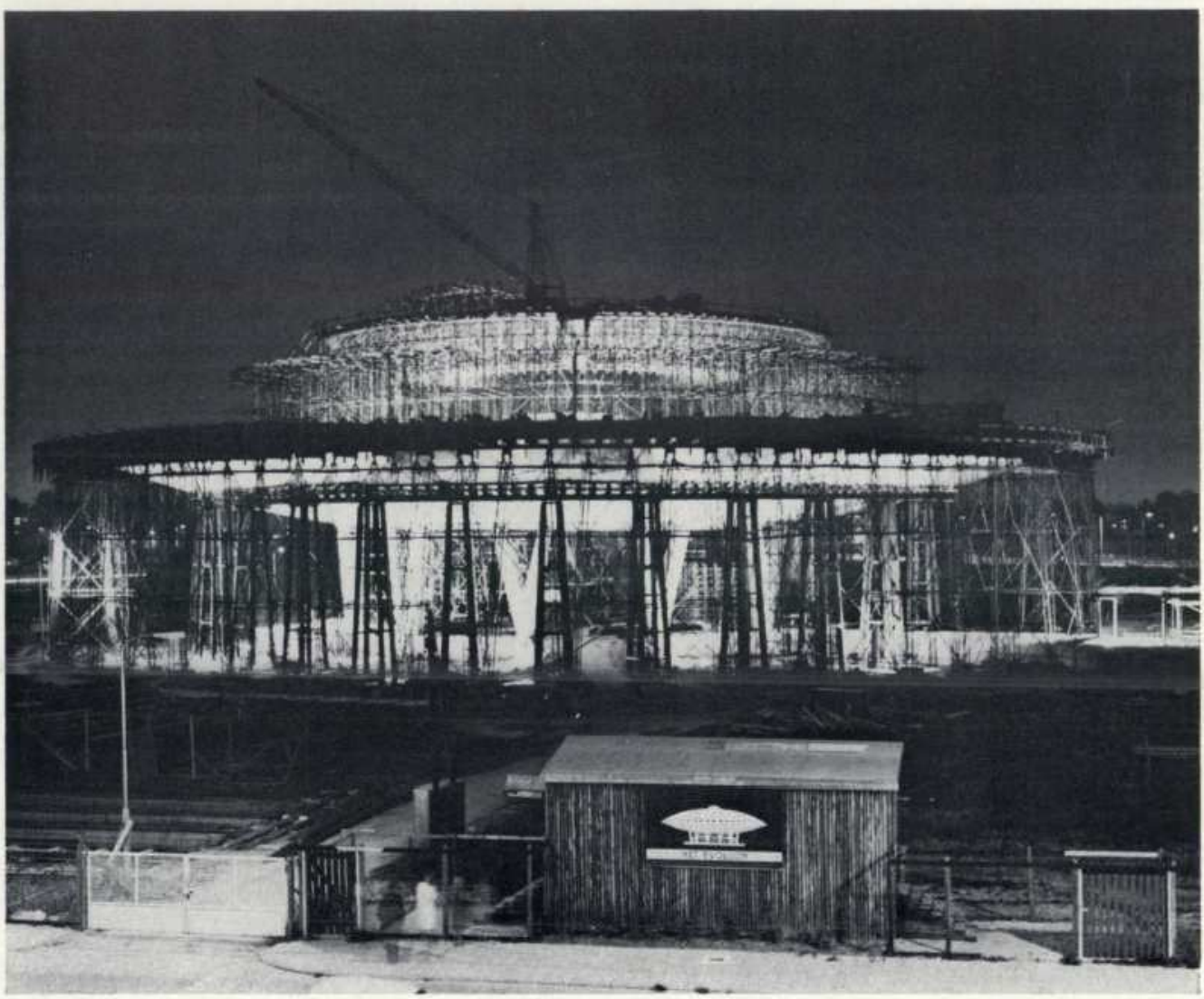
Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

INDUSTRIELE EVOLUTIE



1e Industriële revolutie 2e Industriële revolutie



Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET EVOLUON

Het is duidelijk, dat Philips in deze evolutionaire industriële ontwikkeling een uitermate belangrijke en boeiende rol speelt. Deze rol is die van een groeiende onderneming, die een onafzienbare rij van belangrijke produkten en systemen in de gehele wereld heeft weten te brengen, als bijdrage tot de consumptieve behoeften van mens en maatschappij; die organisatorisch en financieel hechter is en op langere termijn denkt dan menig staatsbestel; die een welkome partner, leverancier en afnemer is van andere bedrijven; en die werkgelegenheid en ontplooiing van arbeidsmogelijkheden biedt aan een tweehonderdvijftigduizendtal mensen over de gehele wereld.

Dit is in essentie een dynamische rol. Al wat wij hebben en brengen is de huidige oplossing van het probleem van *gisteren*, en het is onze intense wil en vertrouwen, dat wij de problemen van *heden* morgen de baas zullen worden.

Dit leidt er toe de tentoonstelling te zien niet als een technische maar als een *industriële tentoonstelling*. Dit op zijn beurt betekent: te laten zien, dat al wat er in deze 75 jaar werd gewrocht aan organisatie, aan methoden, produkten en aan de verbreiding van deze produkten, is gepresteerd door een *gemeenschap van mensen* die telkenmale voor bijna onoplosbare problemen werden gesteld, die hebben geworsteld om deze problemen te overwinnen en die daarin voor een niet gering gedeelte zijn geslaagd.

Bovendien dient in het licht te worden gesteld, dat een industrie een gemeenschap is die produkten maakt om deze te verkopen en die iedere uitgegeven gulden weer in de lade der ontvangsten moet zien terugkeren.

Een tentoonstelling is uiteraard een uitstalling van materiële objecten, verlucht met prenten en teksten. Het gaat er echter om welke gedachten met deze uitstalling aan de bezoeker worden overgedragen.

De hoofdgedachte is deze: dat de techniek dienstbaar behoort te zijn aan de mens. De mens kan, gezien zijn consumptieve behoeften, niet buiten de techniek en moet daarom de techniek zó doelmatig inrichten dat hij, met menselijke arbeid die zo goed mogelijk aan zijn vermogens en ontplooiingsmogelijkheden beantwoordt, op zo volledig mogelijke wijze aan zijn consumptieve behoeften voldoet.

Deze tentoonstelling, die wordt geopend bij een jubileum, vraagt als zodanig reeds naar het perspectief van de achterliggende periode.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Dit perspectief, deze dynamiek, deze voortdurende worsteling en wording te midden van een worstelende en wordende maatschappij dient, ook los van het jubileum, de blijvende hoofdgedachte van het EVOLUON uit te maken.

Wij brengen dan niet een statische uitstalling van wat er nu is, zoals in een dierentuin, maar de evolutionaire dynamiek van de wording en van de menselijke worsteling om de problemen te overwinnen.

Deze evolutionaire signatuur ontbreekt aan de meeste bedrijfstentoonstellingen. Zij geeft daarmede aan onze tentoonstelling een allure en een glans die haar tot een uniek evenement kan maken.

Het stellen van onze activiteiten in het kader van een evoluerende maatschappij heeft bovendien het enorme voordeel dat men Philips gaat „begrijpen". Iedere bezoeker, om het even of het een werknemer, een leek, een huisvrouw, een kind, een geleerde, een industrieel of een staatsman is, zal in de gestelde problematiek iets van zijn eigen problematiek terug moeten vinden.

Dit zal vooral hieruit moeten blijken, dat de bezoekers, ook na hun vertrek, over de opgeworpen problemen (televisie, onderwijs, opvoeding, ontspanning, industrie, maatschappij, evolutie, revolutie enz.) blijven discussiëren.

Zo worde het EVOLUON, dat met zijn naam de signatuur der evolutie draagt, de vertelling van mensen die te zamen een techniek creëren en verbreiden ten behoeve van andere mensen die deze techniek van node hebben.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De keuze van hoofd- en deelthema's

Na deze algemene uitweidingen was het de vraag in hoeverre men op basis hiervan zou kunnen uitkomen op zinnige hoofdthema's. De uitbeelding ervan zou moeten passen in de beschikbare ruimten en ook zou rekening moeten worden gehouden met de weg die de bezoeker door het gebouw volgt. Hij wordt geacht eerst met de stempellift naar het grote bordes te gaan, en dan via de ringen 3, 2 en 1 af te dalen naar de begane grond. Wij kozen aanvankelijk voor het volgende:

Op ring 3: de betekenis van de techniek voor de maatschappij.

Op het grote bordes: het natuurwetenschappelijk onderzoek.

Op het kleine bordes: het levenswetenschappelijk onderzoek.

Op ring 2: de technologie.

Op ring 1: het Philips-bedrijf.

Wanneer men de maatschappelijke betekenis van de techniek wil uitbeelden, moet men dit hoofdthema natuurlijk in deelthema's splitsen volgens maatschappelijke gezichtspunten. Deze werden:

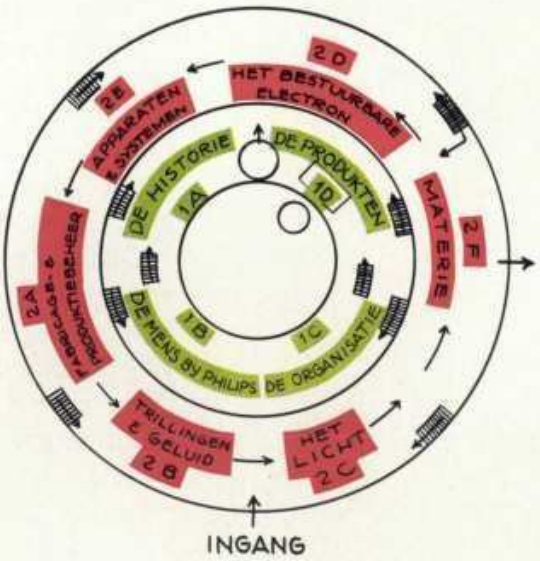
1. Leven en gezondheid
2. Comfort in huis
3. Recreatie
4. Educatie
5. Communicatie
6. Techniek ten behoeve van andere bedrijven.

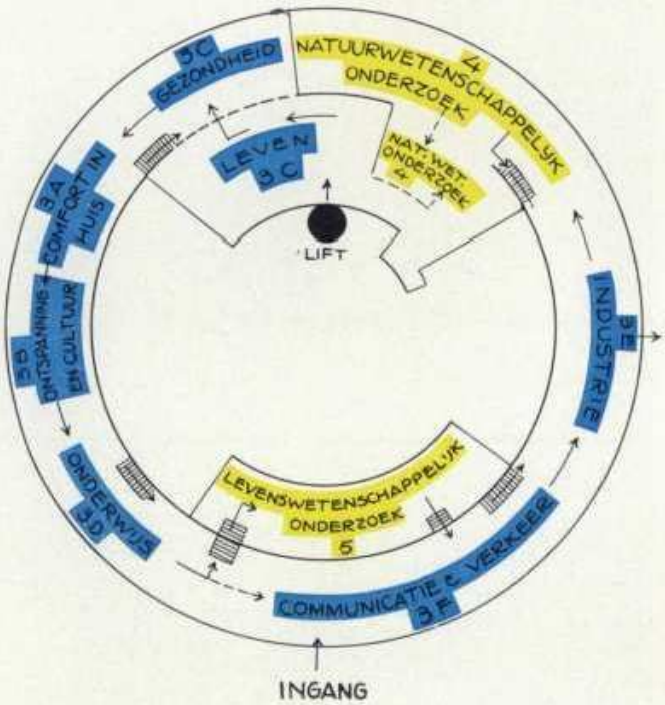
In hoofdlijnen is deze opzet bij de realisering aangehouden, maar op één detailpunt werd reeds direct een verandering aangebracht. De heer Gardner wilde namelijk de bezoeker onmiddellijk bij het verlaten van de lift op het grote bordes pakken met een spectaculair vertoon over het ontstaan van de Aarde en het leven. Daardoor was het bordes niet in zijn geheel beschikbaar voor het natuurwetenschappelijk onderzoek, en moest dit onderwerp worden verdeeld over de rechterzijde van het bordes en het daarbij aansluitende gedeelte van ring 3.

De gedachtengang achter de hierboven geschetste opzet was de volgende. Op ring 3 zal de bezoeker antwoord kunnen krijgen op de vraag: „Wat heb ik eraan?" en zich wat nader gaan interesseren voor de techniek zelve. Deze vindt hij op ring 2, en wel gesplitst in zes deelthema's:

1. Geluid
2. Licht
3. Materie, sleutel tot iedere produktie
4. Het gehoorzame elektron
5. Apparaten en systemen
6. Fabricage- en produktiebeheer.

Heeft de bezoeker ook ring 2 bezocht, dan heeft hij vijfzesde van de tentoonstelling doorlopen maar hij is de naam Philips nog nauwelijks tegengekomen. Dat gebeurt pas op ring 1, die geheel aan Philips is gewijd. Hier ziet de bezoeker de historie van de onderneming, de mens bij Philips, de organisatie van het Concern en een representatieve uitbeelding van de produkten der veertien Hoofdindustriegroepen.





Een der bladen uit het „werkboekje", met de geplande indeling; de huidige wijkt daar van af.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Foto Jan Bijvank, Eindhoven

Het interieur, gezien vanaf ring 3. Men onderscheidt duidelijk de drie ringen. Op de bovenste o.a. een model 1:4 van de ELDO-telemetrieantenne voor het volgen van satellieten. Aan het plafond hangt een molecuulmodel van polypropyleen. De foto is genomen toen men bezig was een lichtrooster op te hijsen dat onder de lichtkoepel moest worden aangebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Foto Gunnar Wahlén, Stockholm

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

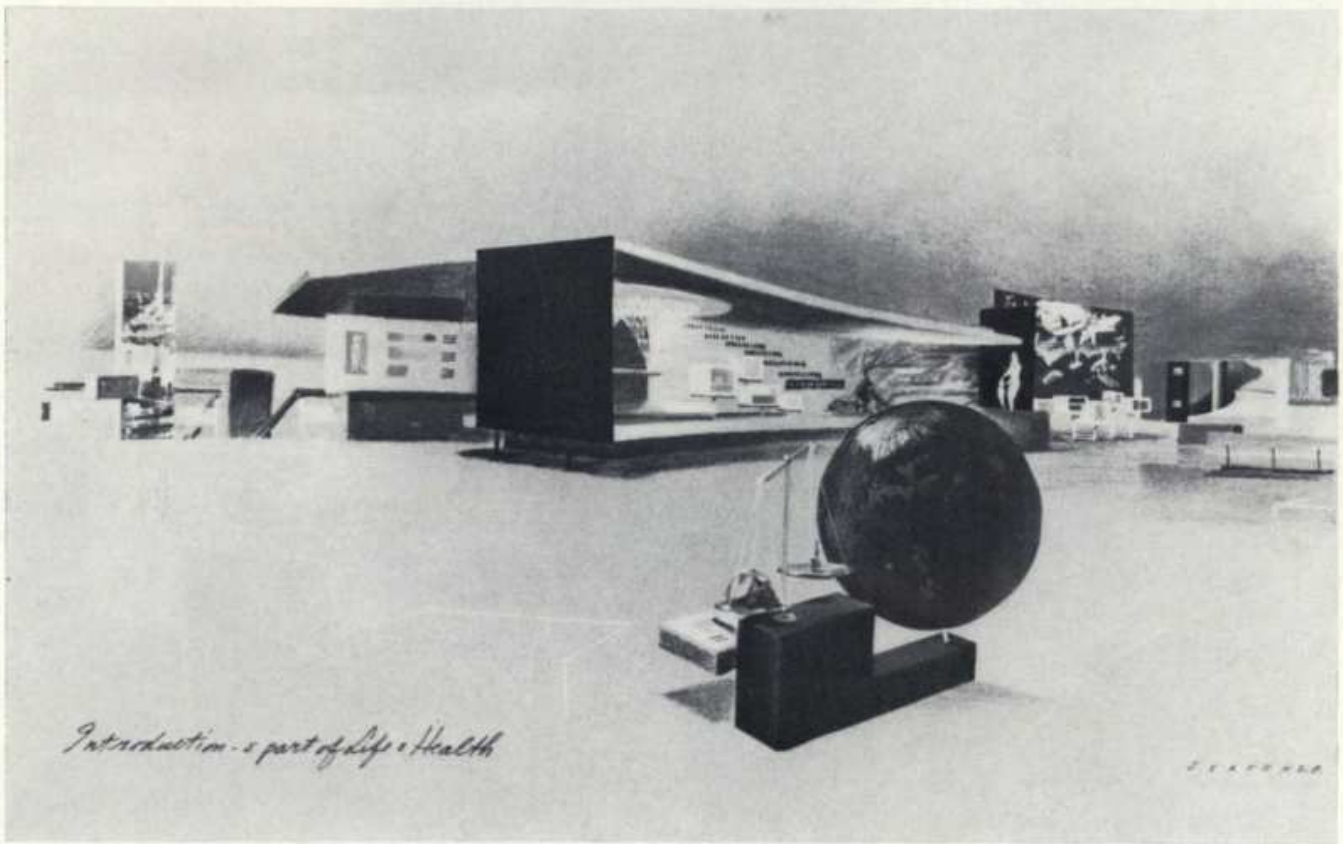
De realisering

Ter realisering van de hierboven geschetste ideeën werden 18 werkgroepen geïnstalleerd — één voor ieder der 18 deelthema's — met in totaal ca. 120 leden. Deze werkgroepen dienden ervan uit te gaan dat de waarde van een vertoon voor het publiek *niet* hoeft af te hangen van de intrinsieke technische of wetenschappelijke inhoud: men moest een „vertelling" concipiëren die door de industriële ontwerper aan het publiek kon worden overgedragen. Bovendien moesten zij er grondig mee rekening houden dat iedere rechtlijnigheid of al te grote consequentheid vervelend wordt. Wij noemden dit de „wisseling der aspecten": de bezoeker zou afwisselend geconfronteerd moeten worden met logica en verrassing, materie en mens, ernst en luim, afblijven en zelfbedienen, actualiteit en historie, actualiteit en toekomst enz. Uitdrukkelijk werd gestipuleerd dat volledigheid in de behandeling van een thema nimmer een verdienste was.

Verreweg het moeilijkste was het om in een uiteraard materieel vertoon het menselijke aspect tot uitdrukking te brengen. Daarom werd ook een tachtigtal „pioniers" op het gebied der deelthema's uitgebeeld. Dit mes zou aan vele kanten kunnen snijden. Het zou niet alleen het zo gewenste menselijke aspect laten zien, maar de bezoeker zou ook gaan beseffen dat wetenschap, techniek en maatschappij niet vandaag zijn geboren, maar dat wij op de schouders van onze voorgangers staan. Bovendien zou dit een gerechtvaardigd eerbetoon aan deze voortrekkers zijn.

De samenstelling van de werkgroepen was interessant, omdat er vrijwel geen deelthema was waaraan niet zeer verschillende afdelingen van de Philips-organisatie een bijdrage konden leveren. Een aantal werkgroepen was reeds langer bezig, maar pas op de officiële installatie in juni 1965 was het achttiental compleet en kon er ten volle begonnen worden. Het was een gigantisch ondernemen om binnen 15 maanden van de eerste warrige discussies tot een redelijk geconsolideerde tentoonstelling te komen, ten einde de opening op 24 september 1966 mogelijk te maken.

Inmiddels groeiden ook allerlei nevenprojecten. Zo hamerde Kleiboer steeds op de betekenis van het Evoluon voor de jeugd. Dit leidde ertoe in het sousterrain van het nevengebouw, dat oorspronkelijk als kelder was bedoeld, het „Voorspel der Techniek" in te richten. In het sousterrain vond ook het Klein Auditorium een plaats, aangezien de bouw van het aanvankelijk geconcipieerde Groot Auditorium — dit zou een zelfstandig gebouw naast het Evoluon worden — door gebrek aan tijd en geld geen doorgang kon vinden.

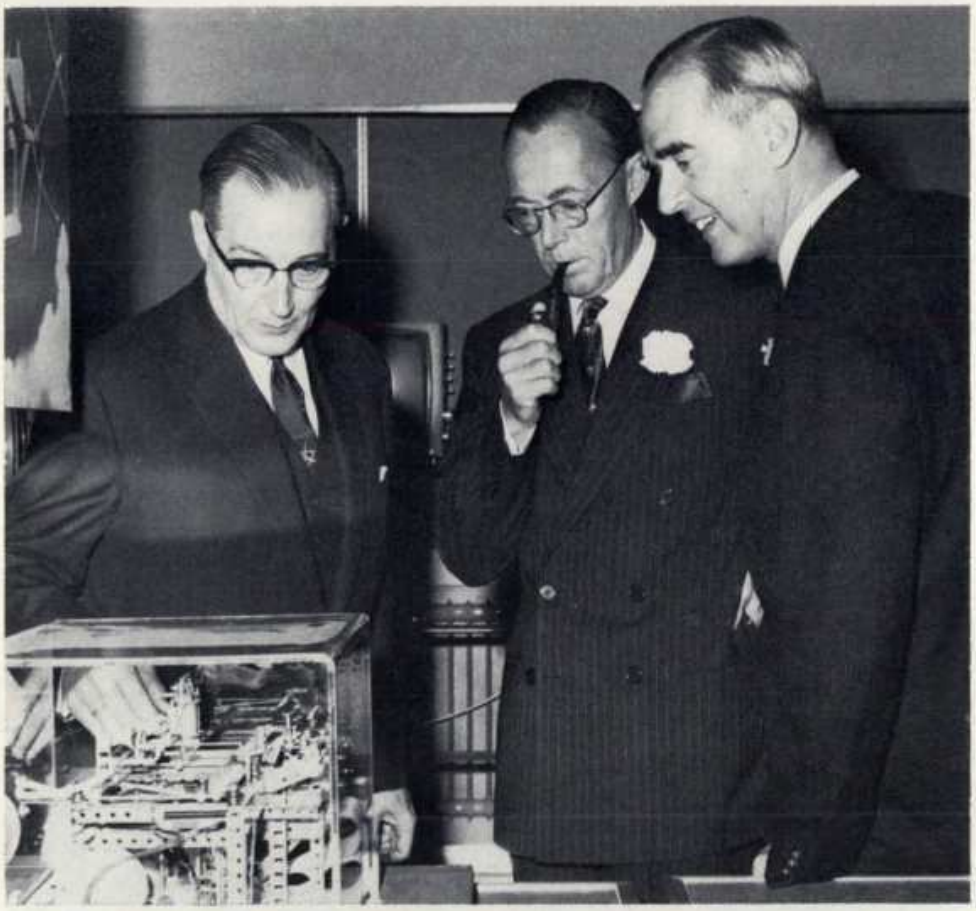


Schets van James Gardner voor een der „exhibits".

← Het interieur, gezien vanaf ring 3, in de tegenovergestelde richting van de vorige foto. Op de voorgrond: „De mens bij Philips".

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023



Z.K.H. Prins Bernhard en ir. Philips bezichtigen de tentoonstelling na de opening op 24 september 1966.

„Voorspel der Techniek" . . .

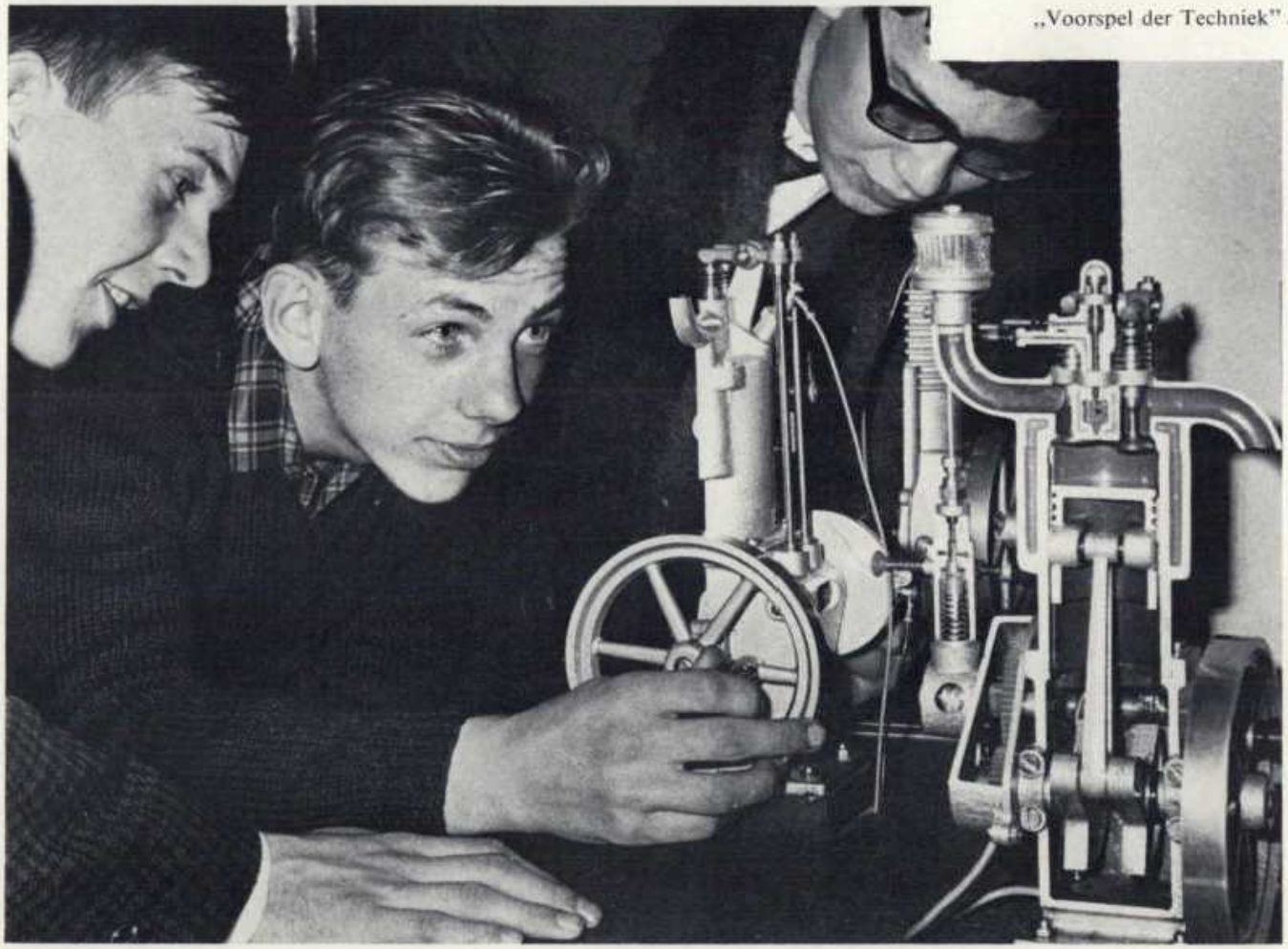


Foto Jan Bijvank, Eindhoven

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

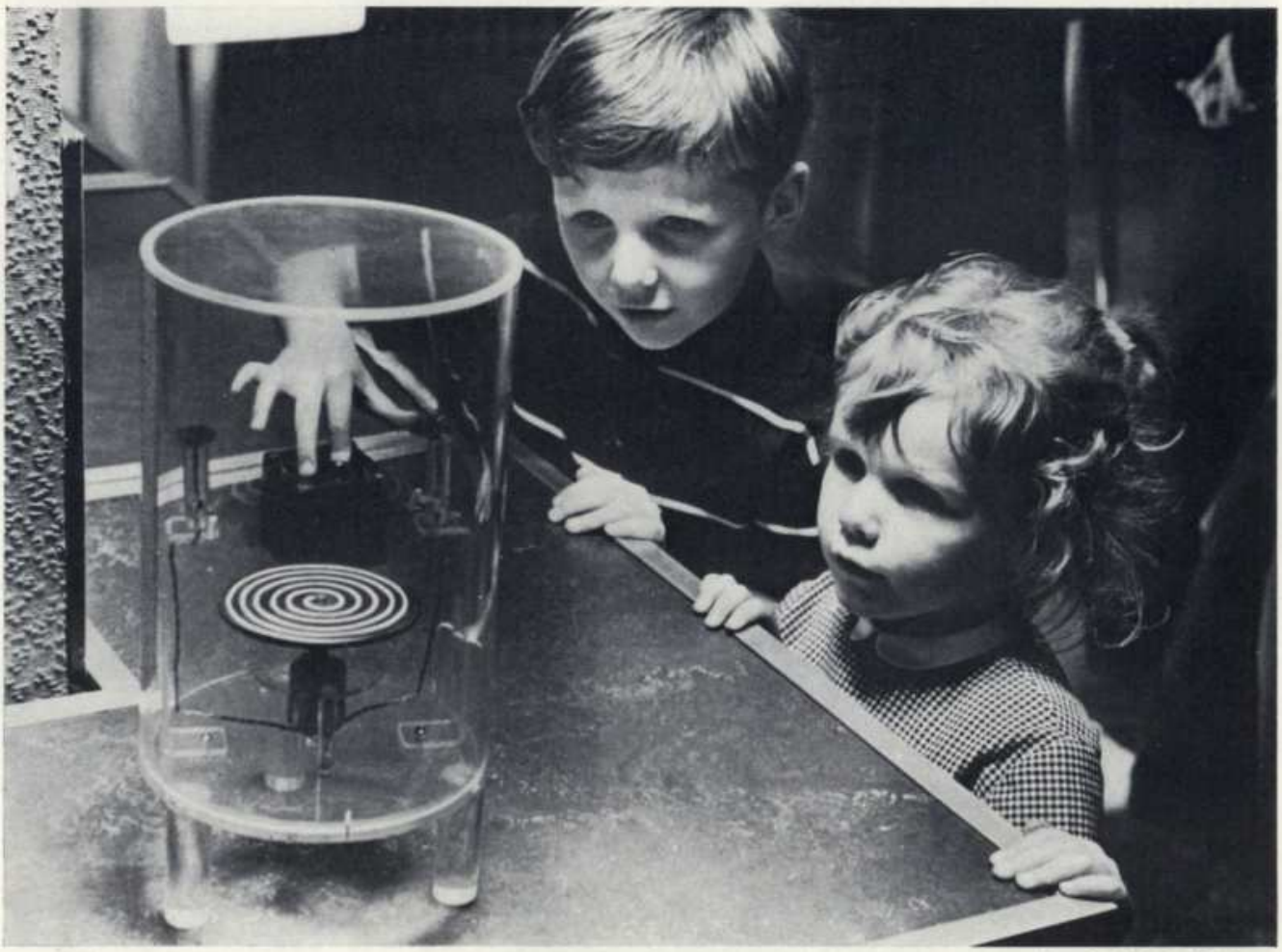


Foto Jan Bijvank, Eindhoven

De opening en de ervaringen van de eerste jaren

De officiële opening op zaterdag 24 september 1966 geschiedde door Z.K.H. Prins Bernhard. Van de geplande tentoonstelling was toen 85% gerealiseerd. Men kan zeggen dat aan de vooravond van deze opening het Evoluon in brede kringen van Philips beslist impopulair was, behalve bij de kleine groep van medewerkers — enige honderden — die in de ban van dit avontuur waren geraakt. Deze negatieve stemming sloeg gedurende het openingsweekend abrupt om, toen de bezoekers de verrassende belevenis ondergingen zich niet in een supertoonkamer van Philips te bevinden. Het was natuurlijk de bedoeling dat het Evoluon zou bijdragen tot het aanzien van het Philips-bedrijf. Onze mening echter, dat dit aanzien het beste zou zijn gediend door een indirecte benadering, werd in de praktijk boven alle verwachting bevestigd.

Dat wij dit hebben kunnen bereiken danken wij enerzijds aan het feit dat de betrokken medewerkers uit eigen huis zó weinig feitelijke tentoonstellingservaring bezaten, dat zij hun fantasie ongeremd konden ontplooien, en anderzijds aan het feit dat de betrokken deskundigen, met name de heren Gardner en Kleiboer, gretig op deze onconventionele concepties ingingen.

Hoewel het bezoekersaantal niet een onmiddellijke maat voor het succes is, was het toch uitermate verheugend dat de meest optimistische raming — 300 000 bezoekers per jaar — ver werd overtroffen. Het jaarlijkse aantal bezoekers steeg geleidelijk van ca. 440 000 tot bijna een half miljoen per jaar, en onlangs werd de tweemiljoenste bezoeker verwelkomd.

Wat echter onze stoutste verwachtingen het meest heeft overtroffen is de mate waarin het Evoluon de jeugd bleek aan te spreken. Wij spraken gekscherend wel eens over de jeugd van 7 tot 70 jaar. In deze uitdrukking moet een diepere waarheid verscholen liggen: wat op een goede wijze aan de jongeren appelleert, doet dat ook aan de ouderen, die zich daarin weer jong voelen.

Mede door de persoon van ir. Ahsmann [*] maakte het appèl aan de jeugd het Evoluon ook tot een natuurlijke springplank voor allerlei nieuwe jeugdactiviteiten, zoals studieweekends voor middelbare scholieren, „De Jonge Onderzoekers" (zowel nationaal [**] als internationaal) en een jeugdlaboratorium.

[*] Ir. G. Ahsmann was in 1965 en 1966 de naaste medewerker van prof. Schouten en is thans leider van de wetenschappelijke afdeling van het Evoluon (*Red.*).

[**] Stichting „De Jonge Onderzoekers", Van Eeghenstraat 86, Amsterdam.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/1a/2023

Hierboven: Faraday in zijn laboratorium.
Hiernaast: Het atoommodel; in de donkere bol kan men de kern en de elektronenbanen van de eerste elf elementen van het periodiek systeem zichtbaar maken.

Rechtsboven: Een der exhibits op ring 1: De organisatie van het Philips-bedrijf.
Rechtsonder: De kleuren, gekarakteriseerd door ruimtecoördinaten volgens Munsell.
Geheel rechts: De exhibits verschillen niet alleen wat onderwerp betreft maar evenzeer in wijze van presentatie. Van boven naar beneden:

De levende cel

Perceptie, binnen en buiten de exhibit

Geluidsspectroscoop

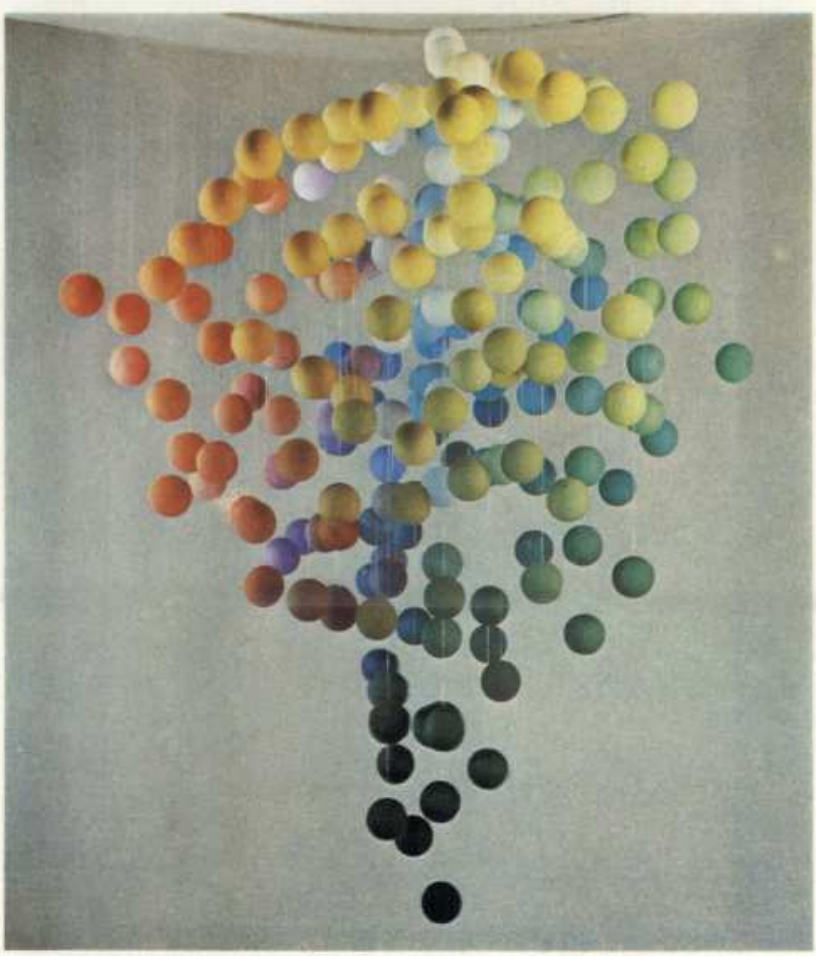
Onderbroken tandwielen

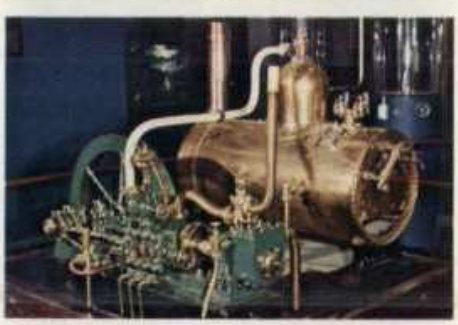
Stoommachine van Newcomen (1864)

Bedrijfsorganisatie

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023





Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Foto KLM Aerocarto N.V

De toekomst

Zien we, nu we enige afstand hebben kunnen nemen, op ons werk terug, dan tekent zich voor de toekomst een duidelijke taak af. Wat ons bij de conceptie van de tentoonstelling maar zeer ten dele lukte, was ring 3. Hierbij moge worden opgemerkt dat de heer Gardner aanvankelijk bijzonder sceptisch stond tegenover het uitbeelden van een abstract thema, zoals hier: „De Betekenis van de Techniek voor de Maatschappij". Het minst geslaagd binnen dit hoofdthema was het deelthema „Recreatie", in welk gebied Philips nota bene de grootste omzet heeft. Er waren wel talloze interessante gedachten, maar op een of andere wijze lukte het niet deze op bevredigende wijze zichtbaar te maken.

Onze opvatting op dit moment is dat men op ring 3 weliswaar de zes genoemde deelthema's tot uitdrukking moet brengen, maar dat het gekunsteld is om dat in aparte sectoren te doen. Waar, bij voorbeeld, ligt de grens tussen recreatie en educatie, en waar dan weer die tussen deze gebieden en de communicatie?

Deze overweging heeft geleid tot een geheel nieuwe conceptie van ring 3, waarbij de oude deelthema's telkens weer in een of andere vorm terugkeren. Met de uitvoering van de nieuwe opzet, ook in een nieuwe en meer flexibele vorm van presentatie, is reeds begonnen.

Tot nu toe hebben we steeds gesproken over de conceptie, de realisatie en het succes van de tentoonstelling. Het is hier de plaats om eraan te herinneren dat een tentoonstelling als die in het Evoluon niet kan functioneren zonder een permanente zorg — in het bijzonder voor de bewegende „exhibits" en die voor „zelfbediening" —, zonder een onvermoeibaar team van explicateurs en zonder een permanente vernieuwing. Jaarlijks wordt er ten minste 10% van het uitgestalde verbeterd of vervangen. Het Evoluon moet, om levend te blijven, zèlf óók evolueren.

Ten slotte nog enige opmerkingen over het appél van het Evoluon aan de jeugd. Wij menen dat de educatieve waarde van een tentoonstelling als die in het Evoluon hierin is gelegen, dat ieder de vrijheid heeft iets over te slaan dat op school verplicht zou moeten worden doorgeworsteld. Helaas kàn een school dit nauwelijks anders doen, maar in het Evoluon heeft men de kostelijke vrijheid zich nu juist met datgene bezig te houden wat op dát moment de belangstelling wekt. En ook dáár steekt men wat van op. Wat de jeugd aanspreekt, zo vertrouwen wij, zal het jeugdige element aanspreken dat iedere bezoeker in zich draagt. En wat zichzelf steeds vernieuwd, zal blijven boeien!

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Foto Bart Hofmeester, Rotterdam

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Jaargang 31, 1970, no. 5/6 blz. 129-212 Verschenen 14 januari 1971

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!